Lane Medical Library

EIN BEITRAG

ZUR

MECHANIK UND GEOMETRIE

DES

HÜFTGELENKS

INAUGURALDISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

VORGELEGT DER

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER UNIVERSITÄT BERN

VON

ALBERT GASSMANN

ARZT IN BERN.

Auf Antrag des Herrn Prof. Dr. Strasser von der medizinischen Fakultät zum Druck genehmigt.

Bern, den 9. Januar 1895.

Der Dekan:
Prof. Dr. Sahli.

Ein Beitrag zur Geometrie und Mechanik des Hüftgelenkes.[1])

1. Das Skelettphantom.

Das Skelettphantom soll zur Veranschaulichung und Bestimmung der Stellung und Stellungsänderung des Femur im Hüftgelenk dienen. Es kann mit demselben z. B. eine am Lebenden beobachtete Lage des Oberschenkels nachgeahmt und schnell und genau bestimmt werden. Letzteres geschieht dadurch, dass die Stellung des Kniepunktes und der Epikondylenquerlinie auf der Exkursionskugelfläche mit Hilfe von Meridianen und Parallelkreisen definiert wird.

Der Apparat, welcher durch nebenstehende Skizze (Fig. 1) veranschaulicht wird, besteht erstens aus einem knöchernen Becken, mit dem das Femur durch ein künstliches Hüftgelenk verbunden ist, zweitens aus einem Gestell mit Meridianrahmen.

Das künstliche Gelenk wurde auf folgende Weise hergestellt: Ich schnitt ein Stück des Femurhalses heraus und ersetzte es durch einen starken, beiderseits fest eingekitteten Stift. Dann wurden im Anschluss an den Pfannenrand schmale Tuchstreifen um den im Acetabulum liegenden Schenkelkopf herumgelegt, übereinander und mit dem Pfannenrand zusammengeleimt und schliesslich mit braunem Schellack überstrichen. So entstand ein verlängerter steifer Limbus, von dessen Rand man so viel

1) Vorliegende Abhandlung ist unter dem Titel: „Genaueres über die Herstellung des Skelettphantoms und des Globus-Muskelphantoms für das Hüftgelenk, nebst Angaben über die Wirkung der Hüftgelenkmuskeln" mit der Bezeichnung II. Teil (A. Gassmann) in den „Anatomischen Heften" von Fr. Merkel und R. Bonnet, Jahrgang 1892, erschienen, als zweiter Hauptabschnitt der Schrift: Hülfsmittel und Normen zur Bestimmung und Veranschaulichung der Stellungen, Bewegungen und Kraftwirkungen am Kugelgelenk, insbesondere am Hüft- und Schultergelenke des Menschen. Von H. Strasser und A. Gassmann.

Ich benutze die Gelegenheit, um Herrn Professor Strasser für seine thätige Mitwirkung meinen innigsten Dank auszusprechen.

wegschneiden konnte, dass das Femur in der Kapsel sich der natürlichen Verkehrsmöglichkeit entsprechend bewegen liess. — Das Becken ist nun an einem Gestell in der Neigung von 55° so befestigt, dass der Mittelpunkt des Hüftgelenkes mit dem Centrum des Meridiankreises zusammenfällt. Die Achse, um welche der Meridianrahmen sich dreht, liegt horizontal und geht durch den Mittelpunkt auch des anderen, nicht benützten Hüftgelenkes. Der etwas mehr als einen Halbkreis umfassende Meri-

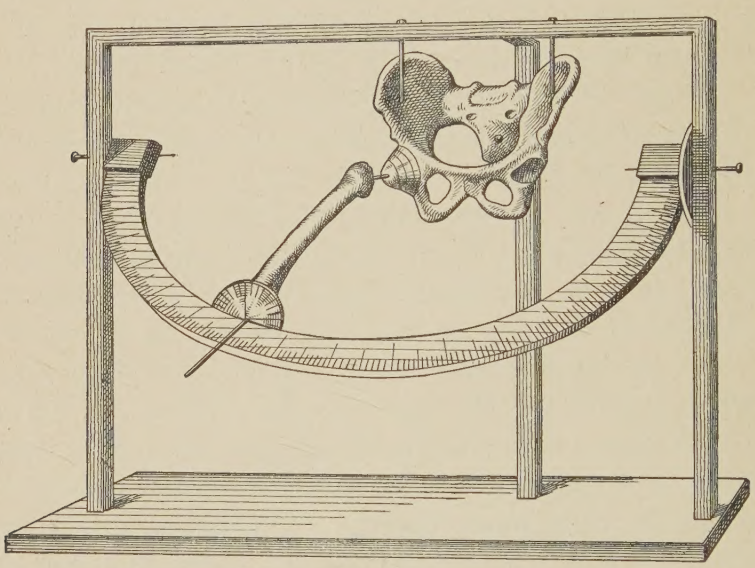


Fig. 1.

dianrahmen ist 7 cm breit, aus mehreren Hartholzstücken zusammengesetzt und mit einer Gradteilung versehen. Die Stifte, welche dem Rahmen als Drehachse dienen, sind in der Höhe von 70 cm in zwei seitliche senkrechte Stützen des Gestelles eingelassen. Diese sind unten durch ein Fussbrett, oben in der Höhe von 85 cm durch eine Querleiste verbunden. An dieser und einer am hinteren Rand des Fussbrettes emporragenden, oben mit der Querleiste verbundenen dritten Stütze

ist nun das Becken befestigt. Zwischen Meridianrahmen und Stützsäule des Gestells befindet sich am einen Achsenstift eine sagittal gestellte, mit Gradteilung versehene Kreisscheibe. Am anstossenden Teil des Meridians ist ein Zeiger angebracht, welcher die Stellung desselben an der Scheibe abzulesen ermöglicht. Der Meridianrahmen hat einen inneren Radius von 44 cm, so dass das Knieende des Femur ihn nicht erreicht. Über dieses Ende hinaus ist die Femurlängsachse verlängert und durch einen Stift dargestellt, der den Kreisrahmen überragt. Zwischen Knieende und Rahmen trägt dieser Stift eine eingeteilte Kreisscheibe, die mit ihm starr verbunden ist und deren Nullradius der Epikondylenlinie parallel läuft. An dieser Scheibe wird die deklinatorische Längsrotation abgelesen.

Nach obigen Angaben könnte das Skelettphantom von jedem Anatomiediener mit Hilfe des Modellschreiners hergestellt werden. Auf Wunsch wird jedoch Hr. Dr. F. Schenk, Bandagist in Bern, die Herstellung des Apparates besorgen, ebenso auch die Nachbildung des zu beschreibenden zweiten Apparates.

---

2. Das Globus-Muskelphantom.

Zur Herstellung des viel komplizierteren Muskelphantoms hatte ich zunächst die Ursprünge der Hüftgelenkmuskeln bei einer bestimmten Lage des Beckens im Raum, und sodann für eine beliebige fixierte Stellung des Femur sämtliche Ansatzstellen radiär auf die Exkursionskugel zu projizieren. Die projizierten Punkte werden in der Kugelfläche so nebeneinander liegen, wie sie einem im Mittelpunkt des Gelenkes stehenden Beobachter erscheinen müssten. Der Vergleich mit einer Sternkarte liegt auf der Hand.

Die Projektion wurde nach folgendem Prinzip ausgeführt: Die Richtung der verschiedenen Radien vom Gelenkmittelpunkt

zu den Muskelanheftstellen, resp. der Ort, wo sie die Exkursionskugel schneiden, wurde gerade so bestimmt, wie die Richtung der Längslinie mittelst des Skelettphantoms. Ein drehbarer Meridianrahmen, dessen Centrum mit dem Mittelpunkt des Hüftgelenkes zusammenfällt und der sich um die Verbindungslinie beider Hüftgelenke als um die Polachse drehen lässt, beschreibt mit seinem Umkreis die Exkursionskugel (resp. sämtliche Meridiane derselben) und mit den verschiedenen Punkten seiner Gradeinteilung die verschiedenen Parallelkreise. Während aber beim Skelettphantom die Längsachse des Femur durch einen Stift dargestellt ist, an den der Meridianrahmen bis zur Berührung heranbewegt werden kann, muss hier durch Visieren festgestellt werden, ob der jeweilige Projektionsradius mit der Ebene des Rahmens und mit welchem Teilstrich desselben er zusammenfällt.

Es wurde also ein Apparat, ganz ähnlich dem Gestell des Skelettphantoms, hergestellt. Um einen bestimmten Muskelursprungspunkt zu projizieren, hatte man nun (vorausgesetzt dass das Becken auf dem Apparat in richtiger Weise fixiert war) zuerst den Meridianrahmen zu heben, bis der Punkt in seine Ebene fiel, was durch Visieren leicht zu konstatieren war. An der seitlich vom Rahmen gelegenen Kreisscheibe wurde der Winkel gemessen, um welchen man den Meridian von der Grundstellung aus hatte heben müssen. Der vertikale Meridian der Grundstellung war der Nullmeridian; die übrigen wurden nach beiden Seiten, hinten herum mit dem negativen Vorzeichen, bis zu 180^0 numeriert. Nachher bestimmte ich durch Visieren in der Richtung der radiären Teilstriche des Rahmens, in welchem Radius des Meridiankreises der Punkt lag. Der Winkel, den dieser Radius mit der Polachse oder mit dem Äquator bildete, d. h. die Nummer des Parallelkreises, in welchem er die Exkursionskugelfläche schnitt, war an der Gradeinteilung des Meridians abzulesen. So liess sich gleichsam geographische Länge und Breite der Projek-

tion eines Muskelursprungspunktes auf der Exkursionskugel finden.

Den Meridianrahmen hätte man wohl am besten vom Modellschreiner aus verschiedenen Stücken Hartholz zusammenfügen und von vornherein möglichst genau arbeiten lassen. Ich benutzte aber einen Rahmen von Blech, der auf einen starken Eisenring aufgelötet war. Die Ebene dieses Blechringes war jedoch nicht genau plan, so dass ich genötigt war, Paraffin aufzugiessen und dieses zu bearbeiten, bis eine genau ebene Fläche vorhanden war. Auf diese wurde dann die aus Papier gefertigte Gradteilung aufgeklebt. Der Nullradius derselben fiel bei horizontaler Meridianstellung nach vorn in die durch den Gelenkmittelpunkt gehende Sagittalebene und beschrieb bei der Drehung des Meridians den Äquator der Exkursionskugel. Vom letzteren aus waren die Teilstriche (Parallelkreise) nach beiden Seiten, d. h. gegen die Pole hin numeriert, und zwar nach aussen hin mit dem negativen Vorzeichen.

Zum genauen Visieren musste eine besondere Vorrichtung angebracht werden. Nach verschiedenen Versuchen mit komplizierteren Systemen gelangte ich schliesslich zur Anwendung eines ganz einfachen Visierschiebers, der aussen eine schmale Visierspalte, innen ein feines Korn besass und der auf dem Rahmen verschoben und jeweilen genau radiär eingestellt werden konnte. Wie beim Skelettphantom würde eigentlich ein halbkreisförmiger Meridianrahmen zur Bestimmung der Richtung sämtlicher Radien genügen, da man denselben um das ganze Becken herum bis vorn und hinten an die Stativstange des letzteren führen kann. Ich zog nur deshalb einen vollständigen Kreisrahmen vor, weil mit demselben die Projektion wesentlich bequemer und genauer auszuführen war.

Dieselbe war nach Exartikulation für Becken und Femur getrennt vorzunehmen. Da aber auf den Exkursionsglobus unseres Phantoms auch das Verkehrsgebiet des Femur im

Hüftgelenk und der Umfang seiner Längsrotation aufzuzeichnen war, ging ich daran, zuerst diese Verhältnisse bei intaktem Gelenk zu messen. Dazu musste das Becken genau so, wie zur Projektion der Muskelursprünge in den Projektionsapparat eingestellt werden. Es wurde ein männliches Becken mit stark entwickelter Muskulatur möglichst exakt in der Medianebene durchgesägt. Die Muskeln schnitt ich weg, präparierte sorgfältig das Hüftgelenk und schraubte das Becken mit seiner medianen Schnittfläche gegen ein dickes, glatt gearbeitetes Brett aus Eichenholz. Von letzterem trug ich so viel ab, als ohne Schädigung der Befestigung möglich war.

An der freien Seite des Brettes wurde durch eine Linie die Lage der Conjugata vera markiert. An der gleichen Brettebene und senkrecht zu derselben ragte ferner ein starker runder Eisenstab vor, der horizontal in die Klammer eines eisernen Stativs eingefügt war und sich in derselben sowohl drehen als verschieben liess. So konnte man das Becken seitlich verschieben und vorwärts oder rückwärts neigen. Der Stiel der Klammer lief nach hinten und war in einer Doppelzwinge befestigt, welche sich an der Stativstange höher oder tiefer festschrauben liess. Er selbst war um seine Längsachse drehbar, und infolge dessen war das Becken auch nach rechts oder links zu neigen, resp. genau horizontal zu stellen. Schliesslich konnte noch das schwere Eisenstativ selber auf dem Fussbrett des Projektionsapparates hin- und hergeschoben und an bestimmter Stelle aufgeschraubt werden. — Es wurde nun zunächst das Rahmengestell mit Hilfe von Senkel und Wasserwage so aufgestellt, dass die seitliche Kreisscheibe vertikal, die Drehachse des Meridiankreises horizontal zu liegen kam. Dann wurde das Stativ mit Becken auf das Fussbrett gesetzt, das Beckenbrett genau vertikal und sagittal gestellt, der Conjugata vera die Neigung von 55° gegeben und durch Visieren der Gelenkmittelpunkt ungefähr in die Mitte des Kreisrahmens gebracht. Das Schwierigste war aber,

diesen Mittelpunkt, der ja im Innern des Femurkopfes lag, genau zur Deckung mit dem Kreiscentrum zu bringen. Zu diesem Zweck wurde die Femurlängsachse durch einen Stift verlängert, welcher auf den Meridianrahmen zu liegen kam. Befand sich der Gelenkmittelpunkt in der Meridiandrehachse, so musste in irgend einer bestimmten Ab- oder Adduktionsstellung beim Heben und Senken des Meridians die Spitze des Stäbchens immer den gleichen Abstand vom Meridiankreis haben; und wenn der Gelenkmittelpunkt mit dem Kreismittelpunkt zusammenfiel, so beschrieb das Stäbchenende bei irgend einer festen Meridianstellung beim Verschieben auf dem Rahmen einen dem Meridiankreis konzentrischen Bogen. Das Becken wurde also so lange verschoben, bis diese beiden Bedingungen erfüllt waren, und das Stativ in dieser Stellung fixiert. Zur Bestimmung der Längsrotation diente, ganz wie beim Skelettphantom, eine auf der Längsaxe senkrecht stehende und mit derselben fest verbundene Kreisscheibe, deren Nullradius der Epikondylenlinie parallel war. Der Winkel, den diese mit der Meridianebene bildete, war so direkt abzulesen; die auf die Einwärtsrotation sich beziehenden Werte erhielten das Vorzeichen —, die der Auswärtsrotation das Zeichen +. Die Resultate unserer Messungen sind auf der Muskelglobuskarte (Exkursionsgebiet des Femur Tafel I und II) graphisch dargestellt.

Es ist zu erwähnen, dass die dort aufgezeichnete Exkursionskurve die Kombination zweier von verschiedenen Bandpräparaten gewonnenen derartigen Kurven ist. In den Extremstellungen der Längslinie brauchte nur eine Rotationsstellung angegeben zu werden, da hier die Bänderspannung keine Längsrotation zulässt. Bei den übrigen Stellungen der Längslinie, für welche die Rotationsfähigkeit gemessen wurde, ist, da der maximale Rotationswinkel nie 90° überschreitet, jeweilen einfach die Lage der ganzen Epikondylenlinien aufgezeichnet worden. Es schliesst

also immer der seitliche Winkel der Kreuzfigur die mittlere Rotationsstellung ein.

Unsere Bestimmungen der maximalen Flexion-Extension und Ab-Adduktion stimmen mit denen von Krause, welcher für die erstere 140°, für die letztere 90° erhielt, genau überein. Für die Längsrotation haben wir in der Stellung: *M* (Meridian) = 60°, *P* (Parallelkreis) = 0° eine grösste Exkursion von 60° erhalten, während der genannte Autor eine maximale Längsrotation von 50° angiebt. Die Bestimmungen anderer Autoren weichen übrigens in entgegengesetztem Sinne ab; Henke z. B. fand eine grösste Längsrotation von 90°. Die grösstmögliche Einwärtsrotation, *D* (Deklination) = — 35, finde ich in Stellung *M* 60 *P* 0, während bei *M* 20 *P* — 30 das Femur am meisten auswärts rotiert werden kann (*D* + 36). Die Differenz zwischen diesen beiden Extremlagen ist 71°. Aus der Exkursionskurve ist ferner ersichtlich, dass am Bänderpräparat das Femur bis 30° über die Horizontalebene hinaus gebeugt, um einen Winkel von 20° über die Vertikalebene hinaus gestreckt werden kann und dass es in der Beugestellung von 60° sich von der durch das Gelenk gehenden Sagittalebene um 55° abduzieren, um 35° adduzieren lässt.

Zur Projektion der Muskelursprünge wurde das Becken wieder vom Stativ heruntergenommen, das Femur von ihm abgetrennt und bis auf Weiteres in verdünntem Alkohol aufbewahrt. Am Becken wurden die Muskelursprünge auspräpariert und die Grenzen derselben mit Tinte markiert. Diejenigen Muskeln, welche nicht direkt vom Ursprung zum Ansatz laufen, wurden an ihrer letzten Umbiegungsstelle durchschnitten und ihre Querschnitte in der Weise dargestellt, dass man am Knochen ihnen entsprechende Figuren von steifem Papier befestigte. Diese wurden dann wie die übrigen direkten Knochenursprünge projiziert. Der Ileopsoas wurde da quer durchschnitten, wo er aus der Lacuna musculorum tritt, der Obturator internus an seiner Umbiegungsstelle um das Sitzbein. Von anderen Muskeln,

die nur in gewissen Lagen des Beines und nicht stark um Knochenrollen biegen, wie der Piriformis, die Gemelli u. s. f., wurden keine künstlichen Querschnitte projiziert.

Das Becken wurde nun in der oben beschriebenen Weise wieder auf den Projektionsapparat gebracht und richtig eingestellt. Der Gelenkmittelpunkt war durch den Schnittpunkt zweier in rechtem Winkel verschränkter Halbkreise vom Radius des Femurkopfes, welche man in das Acetabulum legte, bezeichnet und konnte auf diese Art durch Visieren leicht und exakt in den Kugelmittelpunkt gebracht werden. Zur Ausführung der Projektion selber markierte ich bestimmte Punkte der schwarz angemalten Konturen der Muskelursprungsflächen mit weisser Farbe und visierte nach ihnen hin. Da, wo sich zwischen das Auge und den zu visierenden Punkt Knochenteile einschoben, wie z. B. beim Ursprung des Glutaeus minimus der ihn überragende Darmbeinteil, wurde der Knochen abgetragen. Es konnte dies bei der soliden Befestigung des Beckens ganz gut geschehen, ohne dass dasselbe verschoben wurde. Die Ursprungspunkte am Tuber ischii konnten von unten nicht gut visiert werden; ich drehte daher das Becken um 180° um die Polachse und zog die Drehung in Rechnung. — Ausser den Muskelursprungsfeldern wurde auf diese Weise noch die Ansatzlinie der Gelenkkapsel am Pfannenrand projiziert.

Die Projektionen der Beckenmuskelursprünge auf die Exkursionskugelfläche sind auf Taf. I und II in zwei Hemisphärenkarten dargestellt. Sie stellen einen ringförmigen Streifen dar, der zum grössten Teil auf der medialen Kugelhälfte liegt. Derselbe setzt sich im wesentlichen zusammen aus den Muskelursprüngen der zwei grossen Flächen der Beckenaussenseite, welche durch die vom Tuber zur Spina anterior inferior und superior laufende Crista longit. lateralis (Strasser) von einander getrennt werden. Das die Darmbeinursprünge darstellende Pro-

jektionsband liegt in seiner obern vordern Hälfte auf der Aussenseite des Äquators, überkreuzt denselben auf der hintern Kugelfläche und geht hier etwas über den Horizontalmeridian (M — 90) hinab, während es vorn M 90 nicht erreicht. An dasselbe schliesst sich hinten unmittelbar der die Sitz- und Schambeinursprünge darstellende Streifen an, welcher sich nah um den medialen Pol herum nach vorn wendet und hier dem horizontalen Median nahe kommt.

Die zwischen den Projektionen der Spina anterior superior und der Symphyse befindliche Lücke wird durch den Querschnitt des Ileopsoas und den Ursprung des Pectineus ausgefüllt. Wegen der Wölbung oder Höhlung der Ursprungsflächen liegen die auf ihnen befindlichen einzelnen Muskelfelder oft in radialer Richtung übereinander, so dass ihre Projektionsbilder sich vielfach überkreuzen und bedecken. Näheres siehe in den Tafeln.

Zur Projektion des Femur und der Muskelansätze wurden wie beim Becken die Muskelansatzlinien am Knochen aufgezeichnet. Ansätze, welche nicht am Knochen inserieren, wie der des Tensor und derjenigen Fasern des Glutaeus maximus, welche zur Fascia lata gehen, oder der Fasern des Glutaeus minimus zur Kapsel konnten zunächst nicht berücksichtigt werden. Nachträglich zeigte es sich jedoch, dass es kein grosser Fehler war, als Insertionslinie der obersten Fasern des Glutaeus maximus den Streifen vorn am Trochanter maior anzunehmen, über den sich die Fascie straff spannt und an welchen sie durch Bindegewebe angeheftet ist, und für die untersten Fasern den untern Teil der Linea aspera bis zum Epicondylus externus hin. Auch für den Tensor wurde der untere Dritteil der Linea aspera bis zum Epicondylus externus als Ansatz genommen; derselbe erscheint auf der Projektion nur als ganz kurze Linie. Künstliche Querschnitte wurden angefertigt und projiziert vom Rectus femoris (Sehnenquerschnitt an der Patellainsertion), Biceps (an der Stelle, wo er in mittlerer Beugestellung von Hüft- und Kniegelenk

unter dem Condylus externus hinzieht), Semitendinosus, Semimembranosus, Gracilis, Sartorius (da, wo sie an und unter dem Epicondylus internus vorbeilaufen). — Es war gleichgültig, in welcher Lage zur Exkursionskugel das Femur behufs Projektion seiner Muskelansätze festgestellt wurde; denn das Femur selber ist beweglich und nur die auf ihm befindlichen Ansatzpunkte ändern ihre gegenseitige Lage nicht. Natürlich wählte man eine zum Projizieren möglichst bequeme Stellung. Der Mittelpunkt des Schenkelkopfes musste aber mit dem Meridiancentrum zusammenfallen. Seine Einstellung geschah folgendermassen: Der Schenkelkopf wurde durch einen genauen Sägeschnitt halbiert und die eine Hälfte entfernt. Auf der andern wurde der Mittelpunkt markiert und durch Visieren in die richtige Lage gebracht. Der Schenkelknochen selbst wurde auf dem Projektionsapparat befestigt mittelst einer Schraubenzange, die ihn nah am Kopf anfasste und am hintern Ende von derjenigen Klammer des Stativs gehalten wurde, in der vorher die Eisenachse des Beckenbrettes steckte.

Es sollte nun, so weit es möglich war, die Kontur des Oberschenkels in toto projiziert werden. Da aber die Projektion der Schenkelkopfgelenkfläche fast die ganze Exkursionskugel in Beschlag nehmen und zusammen mit dem Schenkelhals nirgends eine äussere Konturlinie geben würde, projizierte ich die Umrisse der übrigen Teile des Femur gerade so, wie wenn die beiden ersteren nicht vorhanden gewesen wären. Auf diese Weise wurde die Konturprojektion der Trochanteren, der Diaphyse und der Kondylen als eine geschlossene Kurve gewonnen. In das Innere oder an den Rand derselben kamen dann die Projektionen der Muskelansätze zu liegen. Ausserdem wurde zur Beurteilung der Kapselspannung noch ein äusserster Schenkelhalsquerschnitt, als Ansatzlinie der Kapsel, insbesondere des Ligamentum ileofemorale und ischiofemorale, projiziert.

Die Projektionsbilder des Oberschenkels (Taf. III) sind im

allgemeinen verzerrter, als die des Beckens, weil die einen zu projizierenden Punkte und Felder dem Mittelpunkt sehr nahe liegen und infolge dessen ihre Projektionen auf der Exkursionskugelfläche weit auseinander zu liegen kommen, resp. sehr gross werden, während die anderen Felder, welche vom Gelenk weit entfernt sind, in der Projektion klein werden und nah zusammenrücken. Die Radien, welche den Schaft des Femur mit Kondylen und Trochanteren einschliessen, begrenzen auf der Kugeloberfläche eine eigentümliche Figur. Auf derselben ist das Knieende des Femur ganz klein, während die Trochanterengegend ausserordentlich mächtig erscheint. Die Muskelinsertionen am Trochanter maior nehmen den grössten Teil des Femurdiagramms ein, die lange Adduktorenansatzlinie der Linea aspera ist dagegen in hohem Masse verkürzt. Man hat im Anfang einige Mühe, sich in diesem Bild zurechtzufinden.

Mit Hilfe der gewonnenen Daten konnte nun an die Herstellung des Globusphantoms gegangen werden. Dasselbe besteht, wie bereits im vorstehenden Aufsatz entwickelt wurde, aus zwei Hauptteilen: 1. der Exkursionskugel mit den Beckenprojektionen und 2. einer verschieblichen Kugelschale, welche die Femurprojektionen trägt. Beide sind durch Fäden, welche die Muskeln darstellen, verbunden. — Es wurden also auf eine schwarze, mit weissen Gradlinien versehene Kugel von 30 cm Radius die Muskelursprungsprojektionen aufgemalt, eine jede mit besonderer Farbe, ferner als weisse Linie die Verkehrsgrenze des Femur und für verschiedene Punkte an der Grenze und im Innern derselben die extremen Rotationsstellungen der Epikondylenlinie. Mit besonderer Farbe wurde markiert die Mitte des Exkursionsfeldes und die mittlere Rotationsstellung der Epikondylenlinie für diesen Punkt („Mittelstellung“ des Oberschenkels). Endlich zeichnete man auch die Projektion des Gelenkkapselansatzes am Becken auf. Die Projektion der Femurkontur wurde mit Hilfe einer Gradteilung auf eine dünne Kugelschale

aus Lindenholz von der Krümmung des Kugelradius aufgetragen und der überragende Teil der Platte weggeschnitten. Die Muskelansatzprojektionen wurden in diese Kurve eingezeichnet und gleich koloriert wie die entsprechenden Ursprünge auf der Kugel. Ausserdem markierte ich auf der Femurplatte eine der Projektion des Kapselansatzes (resp. des Schenkelhalsquerschnittes) entsprechende Ellipse und in dieser die Punkte, welche in der Mittelstellung der Spina anterior superior, der Symphyse, dem Tuber ischii und dem Foramen ischiadicum maius am nächsten liegen. Um die Muskeln durch gespannte Fäden darzustellen, bohrte ich in die Ursprungsprojektionen je eine bis zwei kleine Ringschrauben und an den entsprechenden Ansatzstellen in die Femurplatte feine Löcher. Letztere wurden auf der Plattenunterseite etwas erweitert, damit sie die Knoten am Ende der durchgezogenen Schnüre aufnehmen konnten und die Platte der Kugel trotzdem flach auflag. Am medialen Pol der Kugel liess ich einen starken Eisenstab eintreiben und steckte an diesem die Kugel auf ein Stativ. Da der Adduktionspol ins Innere des vom Muskelursprungsstreifen umgebenen Feldes hineinfällt, so war es möglich, die Muskelfäden von den Stellen aus, wo sie durch die Ösen der Ursprünge laufen, an der Stativstange vorbei gegen eine jenseits des Stativs aufgestellte horizontale und von vorn nach hinten gerichtete Leiste abzuleiten (s. Taf. IV). An dieser, welche von einer hinteren und vorderen Stütze getragen und mit dem Stativfuss fest verbunden ist, gehen die Schnüre alle in gleicher Höhe über Rollen. Sie werden, jenseits derselben in einer Ebene herabhängend, durch Gewichte gespannt.

Es sei hier nur angedeutet, dass es etwelche Schwierigkeit verursachte, die zahlreichen Fäden so anzuordnen, dass bei der Lageveränderung der Femurplatte die einen je nach Bedürfnis sich über die Ansätze der anderen schieben konnten, dass sie ferner an der Öse, der Reibung wegen, keine zu starke Ab-

knickung gegen die Rolle zu erfuhren und sich gegenseitig doch nicht behinderten. Durch die gespannten Muskelfäden wurde nun die verschiebliche Femurplatte in jeder Stellung, welche einer natürlichen Lage des Oberschenkels entspricht, festgehalten. Um sie schnell und gut zu den Meridianen und Parallelkreisen des Exkursionsglobus orientieren zu können, wurde sie an der Stelle der Epikondylenlinie von einem Fenster durchbrochen, in welchem ein Draht die Lage der obigen Linie angab.

Als wir an die Herstellung des Modells gingen, waren wir auf manche Überraschungen gefasst und nicht ganz sicher, dass dasselbe wirklich auch praktisch verwertbar sein würde. Das Resultat ist nun unerwartet günstig: Die Femurplatte ist verhältnismässig leicht verschiebbar, die Muskelfäden folgen ohne Verwickelung der Bewegung derselben und spannen sich in grössten Kreisen. Bei einiger Beschränkung in der Zahl der Fäden lässt sich bei jeder Stellung das Bild leicht entwirren und verwerten. Fehlende Zugrichtungen können nach Bedürfnis hinzugefügt oder durch die Betrachtung ersetzt werden.

So bekommt man denn mit Hilfe des Globusmuskelphantoms für jede beliebige Lage des Oberschenkels mit einem Blick eine Übersicht über die Wirkung der gesamten Hüftgelenkmuskulatur, soweit es die Richtung und Sinn der von den einzelnen Muskeln ausgeübten Drehbestreben betrifft.

Wir geben gerne zu, dass die Projektion der Muskelursprünge und -Ansätze noch genauer und die technische Ausführung des Apparates, namentlich was die Reibungswiderstände betrifft, vollkommener hätte sein können, so dass derselbe ein exaktes Uhrwerk geworden wäre. Es wäre dann auch möglich gewesen, viel mehr Fäden zu spannen. Es lag uns aber erstlich daran, das Phantom möglichst einfach zu gestalten, damit es seinen Hauptzweck, zur Erklärung und Demonstration der Muskelwirkung zu dienen, erfüllen könne. Sodann nötigte uns die

Rücksicht auf den Kostenpunkt und auf die Möglichkeit einer Vervielfältigung des Phantoms zu einer weisen Beschränkung.

Anhang. Wir haben schliesslich noch für die Mittelstellung des Femur im Hüftgelenk den Abstand der verschiedenen Muskeln vom Drehpunkt an einem neuen Muskelpräparat ermittelt. Nachfolgende Tabelle enthält in der zweiten Kolonne diese Grössen in cm. Die dritte Kolonne giebt an, um wie viel grösser als diese Abstände jeweilen, für die Mittelstellung und den betreffenden Muskel, der Radius der natürlichen Exkursionskugel ist. Die Länge des Femur vom Mittelpunkt des Schenkelkopfes bis zum Kniepunkt betrug an jenem Muskelpräparat 40,5 cm. Man hat sich nun jeweilen den in der Exkursionsoberfläche in grösster Kreislinie wirkenden Ersatzmuskel um so viel dünner und länger zu denken, als die Verhältniszahl es angiebt, bei sonst gleicher Anordnung der Fleischfasern zur Sehne und gleichem physiologischen Zustand der einzelnen Muskelteilchen.

Muskelname	Abstand vom Gelenk in cm	Verhältniszahl
Glutaeus maximus (vordere Portion) . . .	2,8	14
„ (mittlere Portion) . . .	3,6	11
Glutaeus medius (vorderer Rand)	6,2	7
„ (hinterer Rand)	4,0	10
Glutaeus minimus (vorderer Teil)	6,0	7
„ (hinterer Teil)	3,2	13
Piriformis (oberer Teil)	2,8	14
„ (unterer Teil)	3,2	13
Obturator internus	3,0	13
Quadratus (obere Portion)	4,0	10
„ (untere Portion)	6,0	7
Obturator externus (oberer Teil)	2,6	15
„ (unterer Teil)	3,6	11
Ileopsoas (lateraler Teil)	3,4	12
„ (medialer Teil)	3,5	12
Pectineus	4,2	10

Muskelname	Abstand vom Gelenk in cm	Verhältniszahl
Adductor brevis	7,4	5
Adductor magnus (oberer Teil)	5,0	8
„ (unterer Teil)	9,4	4
Adductor longus	9,0	5
Gracilis	9,2	4
Semitendinosus	8,0	5
Semimembranosus	8,0	5
Biceps	5,6	7
Rectus femoris	5,0	8
Tensor fasciae	7,8	5

3. Über die Wirkung der Hüftgelenkmuskeln.

Es ist klar, dass es nicht genügt, die Wirkungsweise der Muskeln am Hüftgelenk nur für die Grundstellung des Beines zu kennen. Von Stellung zu Stellung ändert sich die Lage des Muskelansatzpunktes zum Ursprungspunkt, resp. diejenige der Zugrichtung zu den Drehachsen, oft so, dass die abduzierende Wirkung des Muskels in eine adduzierende, Flexion in Extension, Einwärtsrotation in Auswärtsrotation übergeht und umgekehrt. Für jede beliebige andere Stellung des Oberschenkels ist die Kenntnis der Muskelwirkung gerade so wichtig oder unwichtig, wie für die Grundstellung. Wenn trotzdem die Lehrbücher sich auf Angaben über letztere beschränken, so hat das seinen guten Grund: Es fehlte ebensowohl an allgemein gültigen Normen zur Charakterisierung der Stellung und Bewegung des Femur, als auch an genauen Untersuchungen über die Wirkung seiner Muskeln in andern Stellungen als der Grundstellung. A. Fick[1]) beschränkt sich in seiner Arbeit über die Funktion der Hüftgelenkmuskulatur,

[1]) Statische Betrachtung der Muskulatur des Oberschenkels. Zeitschr. f. rationelle Medizin, 1848.

in welcher er die Drehmomente der für sämtliche Muskeln gleich gross angenommenen Kräfte nach drei Hauptachsen zerlegt, nur auf die Grundstellung. Ebenso berücksichtigt Duchenne[1]) in seinen elektro-physiologischen Untersuchungen der Muskelwirkung im wesentlichen nur diese eine Stellung.

Es war also wohl am besten, wenn man unter solchen Umständen im anatomischen Unterricht gar nicht versuchte, die Wirkungsweise eines Muskels mit ein paar Worten anzugeben, sondern im gegebenen Fall das anatomische Präparat zu Hilfe nahm und die Wirkung eines Muskels unter Benutzung irgend eines Systems von drei senkrecht zu einander stehenden Achsen bestimmte und zerlegte.

Dies wird unserer Meinung nach auch in Zukunft die geeignetste Methode zur Beschreibung und Demonstration der Muskelwirkung am Kugelgelenk sein. Es dürfte wohl unter Anwendung eines Muskelpräparates und eines Skelettmuskelphantoms (Skelettphantom, an dem die Muskeln durch gespannte Fäden dargestellt sind), eventuell auch eines Globusmuskelphantoms, wenigstens einmal dem Studierenden die Art und Weise der Bestimmung von Stellung, Bewegung und Muskelwirkung erklärt werden.

Die Hauptsache ist, am Muskelpräparat für eine bestimmte Stellung des Femur die Zugrichtung und Kraftebene (Ebene durch Zugrichtung und Drehpunkt) eines Muskels zu erkennen und die von ihm hervorgerufene Drehbewegung zu finden. Zu dem Zweck ist für die betreffende Stellung unter Zugrundelegung der von Prof. Strasser vorgeschlagenen Normen für die Bestimmung und Zerlegung der Bewegungen am Präparat die Lage der Längsachse und der beiden Querachsen (der Ab-Adduktionsachse und der Flexions-Extensionsachse) zu suchen. Die erste ist leicht zu finden, die Ab-Adduktionsachse liegt

1) Physiologie des Mouvements. Paris 1867.

quer zu derselben und immer in der Sagittalebene, die Flexions-Extensionsachse steht quer zu den beiden andern. Ferner muss untersucht werden, wie jede dieser drei Achsen zur Kraftebene des Muskels steht, ob sie mit derselben zusammenfällt oder mehr oder weniger quer durch sie hindurchtritt. Nur im letztern Fall kann der Muskel eine drehende Einwirkung um diese Achse ausüben. Je nachdem die Zugrichtung vom Ursprung zum Ansatz an der einen oder andern Seite der Achse vorbeigeht, bestimmt sich der Sinn der Drehung.

Die Grösse der drehenden Einwirkung aber, vorausgesetzt dass die Kraft im Muskel konstant bleibt, hängt ab erstens von der Grösse des kürzesten Abstandes des Muskels von jener Achse, zweitens von dem Umstand, ob die Achse zur Kraftebene mehr oder weniger senkrecht steht. Nur wenn diese beiden Momente berücksichtigt werden, können die verschiedenen Drehbestreben, welche die Muskeln (deren Kraft stets als gleich gross angenommen ist) gegenüber den verschiedenen Achsen ausüben, der Grösse nach mit einander verglichen werden. Setzt man aber für alle Muskeln das Produkt aus Kraft mal Abstand vom Gelenkmittelpunkt, d. h. das resultierende Drehmoment, als gleich voraus (was z. B. bei der Anwendung des Globusmuskelphantoms geschieht), so ist nur die verschiedene Lage der Kraftebene zu den drei Hauptachsen der betreffenden Femurstellung in Betracht zu ziehen.

Das Vorausgehende lässt sich alles am gut aufgestellten Muskelpräparat untersuchen und feststellen; doch leistet ein Skelettmuskelphantom gute Dienste, weil an demselben Zugrichtung und Kraftebene der Muskeln klarer hervortreten. Um aber die untersuchte Stellung genau anzugeben oder das Prinzip einer solchen Lagebestimmung zu zeigen, ist dasselbe fast unentbehrlich. Und wenn man an demselben um die drei Hauptachsen gleich grosse Winkelbewegungen ausführt und das Steigen und Sinken der Gewichte beobachtet, so kann man das am Präparat

betreffs der Muskelwirkung Ermittelte verifizieren. Auch das Globusmuskelphantom kann zu dem letztgenannten Zweck benutzt werden, sei es, indem man die Bewegungen um die drei Achsen nachahmt und die Verlängerung oder Verkürzung der Muskelfäden beobachtet, sei es, indem man direkt für die betreffende Stellung die in einem Muskelfaden an der Kugeloberfläche wirkende Kraft zerlegt und das gegenseitige Grössenverhältnis der Wirkung um die drei Achsen bestimmt. Der Unterschied bei der Benutzung der beiden Phantome ist nur der, dass man am ersten gleiche Muskelkräfte, am zweiten gleiche Kraftmomente voraussetzt. Eine solche Kontrolle durch das von uns konstruierte Hilfsmittel ist von grossem Nutzen; denn die richtige Beurteilung der Lage der Achsen zu den Kraftebenen und Zugrichtungen der Muskeln am Muskelpräparat allein ist oft recht schwierig.

Ich bin nun bei meinen Untersuchungen den umgekehrten Weg gegangen und habe versucht, mir eigentümliche Ergebnisse, welche sich aus dem Studium der Wirkungsweise einzelner Muskeln am Globusmuskelphantom ergeben haben, nachträglich auch am Muskelpräparat auf Grund der oben erörterten Maximen klar zu machen. Es ist mir dies auch in allen Fällen gelungen. Im Folgenden sollen einige dieser Ergebnisse, welche gegenüber den Angaben von A. Fick und Duchenne als neu erscheinen, mit denselben im Widerspruch stehen oder geeignet sind, über strittige Punkte Aufklärung zu bringen, näher besprochen werden.

Nachdem ich einmal die Überzeugung gewonnen hatte, dass unsere Globusprojektion nicht nur ein Hilfsmittel zur Veranschaulichung gewisser stereometrischer Verhältnisse darstellt, sondern genau genug gearbeitet ist, um zuverlässige Daten über die Muskelwirkung, selbst in subtilen Fällen, zu liefern, entschloss ich mich, für einige Stellungen des Beines die am Phantom betreffs der Wirkungsweise der Muskeln gewonnenen Resultate

graphisch darzustellen und zu veröffentlichen. Die Tafeln V bis VI sind auf diese Weise entstanden. Taf. VII entspricht der Mittelstellung des Femur im Gelenk (M 50; $P - 10^0$; D 0^0). Nur die notwendige Beschränkung in der Zahl der Tafeln hat mich verhindert, für dieselben Werte M und P auch noch die zwei extremen Deklinationsstellungen wiederzugeben. Taf. VIII, IX und X entsprechen extremen Lagen der Längslinie, und zwar bezieht sich Taf. VIII auf die extreme Flexion (M 120^0; $P - 10^0$; $D + 30^0$), Taf. IX auf die extreme Abduktion (M 60^0; $P - 55^0$; $D + 20^0$) und Taf. X entspricht der extremen Adduktion (M 60^0; P 35^0; D 0^0). Statt der extremen Extensionsstellung wurde in Taf. V/VI die Grundstellung (M, P und $D = 0$) wiedergegeben.

Nur diese letztere Tafel ist eine eigentliche kartographische Wiedergabe eines Teiles der Oberfläche des Muskelglobus mit den Muskelfäden, dem Gradnetz und der darauf befindlichen Femurplatte (durchsichtig gedacht), welche die Muskelinsertionspunkte enthält.

Die Karte umfasst aber einen grösseren Teil der Kugeloberfläche, als in Wirklichkeit auf einmal gesehen werden kann. Die grössten Kreise der Muskelfäden sind da, wo es nötig war, bis zu den dem Kniepunkt am meisten genäherten Stellen (Nahepunkten) fortgesetzt und, wie auch die vom Kniepunkt zum Nahepunkt gehenden Grosskreisbogen, durch punktierte Linien dargestellt. Ich brauche wohl nicht näher anzugeben, wie man die Muskelfäden durch Auflegen eines bandförmigen Kartonstreifens im Muskelgrosskreis verlängert, und wie man die Verbindungslinie von Knie- und Nahepunkt dadurch findet, dass man einen zweiten, mit Querlinien versehenen Streifen quer darüber legt und solange verschiebt, bis dessen Mittellinie mit dem Kniepunkt und eine seiner Querlinien mit der Mittellinie des ersten Streifens zusammenfällt. Eine zweite durch den Kniepunkt gehende Querlinie ist dann der ersten Quer-

linie, resp. einer im Nahepunkt an den Muskelkreis gezogenen Tangente parallel. Man kann sich, ohne an der Kraftwirkung etwas zu ändern, die im Muskelfaden wirkende Kraft K in den Nahepunkt des Muskelkreises verlegt und diesen mit der Femurplatte starr verbunden denken. Die längsrotierende Wirkung hängt dann ab von der Grösse der für alle Fäden gleich gross angenommenen Kraft K und der Länge des vom Nahepunkt auf die Längslinie gefällten Perpendikels. Der über letzterem gelegene Verbindungsbogen ist nur bei kleinem Abstand des Nahepunktes vom Kniepunkt annähernd ein Mass für jenes Perpendikel oder den längs-rotierenden Hebelarm.

Es lässt sich deshalb aus Taf. V/VI nur annäherungsweise die längsrotierende Wirkung eines Muskels in ihrem Verhältnis zu der radialdrehenden Einwirkung (um eine Querachse) oder zu der Längsrotationswirkung anderer Muskelfadenkräfte abschätzen. Die Drehwirkung um die Querachse ohne Längsrotation wird ebenfalls nur annähernd durch eine Kraft K, die im Kniepunkt in der Richtung der hier anliegenden Querlinie des Verbindungsstreifens angreift, repräsentiert. Ihr wirklicher Hebelarm ist nämlich nicht die ganze Längsachse, sondern nur das zwischen Drehpunkt und Angriffspunkt des längsrotierenden Hebelarms liegende Stück derselben. Der Sinn der beiden Drehwirkungen ist leicht zu ermitteln. In Taf. V/VI entsprechen die durch den Kniepunkt gehenden Pfeile in ihrer Richtung der Wirkung der verschiedenen Muskelfadenkräfte, deren Bezeichnung sie tragen, auf die Längslinie. Der Vollständigkeit halber sollen nun aber in einer Tabelle für die verschiedenen Muskelfäden, deren Spannung K überall gleich 1 gesetzt und durch eine Linie von 54 mm Länge dargestellt ist, die Werte für die in die Längsachse verlegten, ausschliesslich um eine Querachse drehenden Komponenten in lineärem Mass (in mm) angegeben werden, desgleichen die bloss längsrotierenden Komponenten, welche als Tangenten in einen grössten Kreis der Exkursionskugelfläche, der

zur Längsachse senkrecht steht, verlegt sind (s. I. Teil). Bedeutet α die Länge des jeweiligen Verbindungsbogens im Winkelmass, $K = 54$ mm die Kraft des Muskelfadens, so ist die Komponente in der Längsachse $K' = 54 \cos \alpha$, die Komponente am quergestellten Grosskreis $K'' = 54 \sin \alpha$, und zwar wird letztere mit — bezeichnet, wenn sie einwärts, mit +, wenn sie auswärts rotiert.

Ferner wird in der folgenden Tabelle die Richtung der Komponente K' zu den Meridianen und Parallelkreisen der Exkursionskugel angegeben. Und zwar erhält der Winkel β, den sie mit dem vom Kniepunkt zum Abduktionspol laufenden Meridian macht, das Vorzeichen —, wenn er im Flexionsgebiet, das Vorzeichen +, wenn er im Extensionsgebiet liegt.

Muskelname	α	β	$54 \cos \alpha$	$54 \sin \alpha$
Rectus femoris	0	— 70	54	0
Ileopsoas (mediale Randportion) .	8	— 120	52,5	+ 7,5
„ (laterale Portion) . . .	15	— 105	51,5	+ 13,5
Adductor longus	3	— 150	53,5	— 3
Pectineus	5	— 150	53	+ 4,5
Obturator externus (untere Randportion)	20	— 160	50	+ 18
Adductor brevis	2	— 155	54	+ 2
Adductor magnus (oberer Randteil)	10	— 155	52,5	+ 9,5
„ „ (unterer Teil) .	7	+ 120	53	— 6,5
Gracilis	5	— 165	53	+ 4,5
Semitendinosus und Semimembranosus	5	+ 110	53	— 4,5
Biceps	6	+ 110	53	+ 5,5
Quadratus (oberer Randteil) . .	45	— 175	37,5	+ 37,5
„ (unterer Teil)	20	— 170	50	+ 18
Obturator internus	62	+ 175	25	+ 47,5
Piriformis (oberer Randteil) . .	45	+ 30	37,5	+ 37,5
„ (unterer Teil)	75	+ 35	14	+ 52
Glutaeus medius (vorderer Randteil)	15	— 10	51,5	— 13,5
„ „ (hintere Portion) .	42	+ 40	39,5	+ 36
Glutaeus minimus (vorderer Teil).	20	— 15	50	— 18
„ „ (hinterer Teil) .	60	+ 25	27	+ 46,5

Muskelname	α	β	54 cos α	54 sin α
Glutaeus maximus (vorderer Randteil)	40	+ 40	39,5	+ 36
Glutaeus maximus (mittlere Fasern)	115	+ 115	46	+ 30
Tensor	60	— 60	52,5	— 9,5

Mittelst der in Kolonne 2 und 3 angegebenen Werte können auch die Flexions- und Adduktionskomponenten gefunden werden.

Für die vier übrigen Stellungen habe ich eine einfachere Darstellungsweise der Untersuchungsergebnisse gewählt (s. Taf. VII—X). Es wurde der Kniepunkt mit dem zugehörigen Meridian und Parallelkreis in Gestalt eines Kreuzes dargestellt. In dasselbe sind die Komponenten $K' = 54 \cos \alpha$ für die verschiedenen Muskelfäden nach Grösse und Richtung genau eingezeichnet. Um den Kniepunkt als Centrum ist ferner ein Kreis vom Radius 54 mm gezogen, dessen Einteilung den Winkel β abzulesen erlaubt und welcher zugleich den zur Längsachse senkrechten Grosskreis repräsentiert. An seiner Peripherie befindet sich, jeder Kniepunktkomponente entsprechend, ein Pfeil, welcher der Grösse und Richtung nach die am Radius der Exkursionskugel als Hebelarm wirkende Längsrotationskomponente $K'' = 54 \sin \alpha$ darstellt. Der grösseren Deutlichkeit halber sind diese Pfeile nicht als Tangenten jenes Kreises dargestellt, sondern ohne Aenderung ihrer Länge auswärts verschoben. Man muss sich diesen Fehler korrigiert denken.

Dies dürfte wohl die einfachste Methode sein, die für irgend eine Stellung im Kugelgelenk von den verschiedenen Muskeln auszuübenden Drehbewegungen graphisch darzustellen. Es ist aber dabei, wie bereits bemerkt, das Produkt aus Kraft mal Hebelarm (das resultierende Kraftmoment) für sämtliche Muskeln gleich gross angenommen.

Bezüglich der Tafeln VII—X sei noch erwähnt, dass unsere

Angaben (wie auch das Globusmuskelphantom) das rechte Hüftgelenk betreffen. Alle in dem rechten Halbkreis gelegenen Kniepunktkomponenten wirken somit adduzierend, alle im oberen Halbkreis befindlichen flektierend. Die Pfeile an der Peripherie, welche eine Drehbewegung im Sinne des Uhrzeigers hervorrufen, rotieren einwärts.

Es wird dem Leser nicht schwer fallen, aus der Taf. V/VI und der dazu gehörigen Tabelle (pag. 456) nun auch für die Grundstellung ein entsprechendes Bild zu konstruieren. Die Lagen des Femur in Taf. VIII, IX und X entsprechen den in I angegebenen Extremstellungen des Bänderpräparates und kommen also beim Lebenden kaum allzu häufig vor. Trotzdem sind sie für unsere Zwecke brauchbar. Unsere Angaben über die Mittelstellung und vier verschiedene Extremstellungen sollen nur einen ersten Einblick gewähren in die Art und Weise, nach welcher die Muskelwirkung von Stellung zu Stellung sich ändert.

Ich gehe nun zur Besprechung der Wirkungsweise der einzelnen Muskeln in den verschiedenen Stellungen über, und bitte den Leser, die in Taf. I—X niedergelegten Daten zum Vergleich heranzuziehen.

Glutaeus maximus. Nicht alle auf den Glutaeus maximus sich beziehenden Angaben der Tafeln sind ganz genau. Dieselben betreffen nämlich die mittleren Fasern des Muskels, welche bei der Beuge- und Adduktionsstellung am Trochanter maior ziemlich stark abbiegen. Diesem Umstand ist im Globusmuskelphantom nicht Rechnung getragen worden. Am grössten ist der Fehler für die längsrotierende Wirkung und für die Stellungen auf Taf. VII, VIII und X. Um den natürlichen Verhältnissen gerecht zu werden, müsste man sich den Ansatzpunkt des Muskels an der Femurplatte für diese Lagen an die hintere Peripherie des Trochanter maior verlegt denken. Ich habe nun nachträglich auch noch die obere Randportion des

Muskels, für welche keine starke Rollenwirkung in Betracht kommt, am Modell dargestellt und untersucht und sodann den ganzen Muskel am Präparat studiert. Es hat sich Folgendes ergeben:

a) Der Glutaeus maximus, welcher als Auswärtsrotator gilt, übt diese Wirkung mit allen seinen Fasern nur in der Grundstellung aus. Bei M 50°; P 0°; D 0° wird die auswärtsrotierende Wirkung der oberen Fasern gleich null und bei weitergehender Beugung wandelt sie sich in eine einwärtsrotierende um. — Während nämlich in der Grundstellung die Zugrichtungen sämtlicher Fasern an der hinteren äusseren Seite der Längsachse vorbei nach vorn und aussen absteigen, fällt letztere bei M 50°; P 0°; D 0° mit der Kraftebene der oberen Portion zusammen. Bei noch stärkerer Beugung tritt sie mit dem proximalen Schenkel (d. h. ihrer rumpfwärts vom Gelenk liegenden Verlängerung) aus derselben an der Hinterseite heraus; die Zugrichtung der oberen Portion geht dann absteigend vorn an der Längsachse vorbei von der Vorderseite zur Rückseite des Beins.

Wird nun in dieser starken Beugestellung das Bein einwärtsrotiert, so rückt der Ansatzpunkt der oberen Fasern (den man sich vorn oben am Trochanter maior denken kann) an der Längsachse des Beins vorbei nach vorn und innen, bis schliesslich Ursprung und Ansatz in derselben Längsebene des Beins liegen. Dabei wird also die einwärts rotierende Wirkung vermindert und aufgehoben. Bei noch stärkerer Einwärtsdrehung des Beins müsste wieder eine auswärtsrotierende Wirkung an diesen oberen Fasern eintreten.

b) In höheren Beugestellungen wird für alle Fasern, die nicht gerade der Ab-Adduktionsmeridianebene parallel laufen, die längsrotierende Wirkung, sei dieselbe aus- oder einwärtsdrehend, im Verhältnis zu der nicht längsrotierenden Drehwirkung um eine Querachse grösser bei der Abduktion, kleiner bei der Adduktion, weil sich im ersteren Fall die Kraftebene

zur Längsachse mehr quer stellt. Es verschiebt sich bei Ab-Adduktion der Ansatzpunkt parallel der Meridianebene und nähert sich bei Abduktion dem Ursprungspunkt, während er sich bei der Adduktion von demselben entfernt.

c) Letzteres gilt aber nur für die Fasern, welche ein abduktorisches Moment haben. Es geht jedoch nicht für alle Portionen des Muskels die Zugrichtung oben und aussen an der sagittalen Querachse (der Ab-Adduktionsachse) vorbei, sondern, wenn das Femur nur wenig gebeugt ist, liegt der hintere Schenkel dieser Sagittalachse über und nach aussen von einem Teil der unteren Randfasern; und bei der Grundstellung und stärksten Extension liegt ein noch grösserer Teil, mehr als die Hälfte des Muskels, unterhalb der sagittalen Achse. Dieser Teil wirkt natürlich adduzierend und seine auswärtsrotierende Nebenwirkung nimmt, wenigstens so lange er von oben nach unten geht, bei der Abduktion nicht zu, sondern ab (vergl. unten den M. biceps). Duchenne streitet nun aber mit Unrecht dem Glutaeus maximus jede abduzierende Wirkung ab. Die oberen Fasern dieses Muskels liegen schon bei der Grundstellung, wo bezüglich der Wahl der Ab-Adduktionsachse kein Missverständnis obwalten kann, deutlich oberhalb der letzteren. Bei stärkerer Beugung haben auch schon die alleruntersten Fasern ein abduktorisches Moment.

Dass der Muskel beim Stehen auf einem Bein zur Fixation des Beckens mitwirkt, scheint mir ausser Zweifel zu sein. Es ist allerdings richtig, dass sein grösserer unterer Teil in dieser Stellung sich nicht kontrahiert, weil er adduzierend wirken würde. Daraus ist aber nicht der Schluss zu ziehen, dass der ganze Muskel unthätig sei. Seine verschiedenen Teile können sehr wohl verschieden erregt sein und thatsächlich ist auch nach Beobachtungen, welche wir an uns selbst und Anderen gemacht haben, in der genannten Lage seine obere Portion gespannt.

d) In der Grundstellung haben sämtliche Portionen des Muskels Extensionswirkung, da sie hinter der Flexions-Extensionsachse zum Femur ziehen. Mit fortschreitender Beugung wird aber die extendierende Komponente des Kraftmomentes kleiner, während namentlich die adduktorische wächst. Schliesslich rücken die oberen Fasern über die genannte Drehachse hinaus und beginnen nun zu flektieren. Besonders deutlich wird aber diese Funktionsänderung, wenn in starker Beugestellung das Bein einwärts rotiert ist. Bei starker Einwärtsrotation haben die obersten Fasern schon in der Grundstellung ein flektorisches Moment.

Glutaeus medius. Die Resultate unserer Untersuchung über die Wirkung des Glutaeus medius stimmen, wenigstens für die Grundstellung, mit denjenigen Duchenne's überein. Während der Muskel gewöhnlich als ein Abduktor schlechtweg betrachtet wird, giebt der genannte Autor an, dass seine vordere Portion ausser der Abduktionswirkung noch eine beugende und einwärtsrotierende, seine hintere noch eine streckende und auswärtsrotierende Funktion besitze.

a) Dies lässt sich auch für die Grundstellung leicht erklären. Die vorderen Fasern ziehen vom Ursprung zum Ansatz schräg abwärts nach hinten, und zwar vorne an der Flexions-Extensionsachse vorbei, während die viel zahlreicheren hinteren in ihrem von hinten nach vorn absteigenden Verlauf hinter dieser Achse durchgehen. Ferner kreuzt die Zugrichtung der ersteren die Längsachse an der vorderen Seite, während die der hinteren an der Längsachse hinten vorbeiläuft.

b) Die hinteren Fasern haben in der Grundstellung ein auswärtsrotierendes Moment, und zwar ein ziemlich starkes. In der Mittelstellung (s. Taf. VII) wird die Wirkung bereits einwärtsrotierend, bei weiterer Beugung und auch bei Abduktion in noch höherem Mass. Die Erklärung dafür ist die gleiche wie für

das analoge Verhalten der vorderen oberen Fasern des Glutaeus maximus, welche ja auch ähnlich entspringen, verlaufen und enden wie die unter ihnen liegenden hinteren Fasern des Glutaeus medius. In extremen Flexions- und Abduktionsstellungen rotiert also auch der hintere Teil des Muskels einwärts.

c) Duchenne macht ferner die Angabe, dass die abduzierende Wirkung der vorderen Fasern bei Beugung des Beins sich in eine adduzierende verwandle. Eine Erklärung für dieses Verhalten bringt er nicht bei. — Wie aus den Tafeln zu entnehmen ist, vermindert sich wirklich die abduzierende Wirkung der genannten Fasern bei der Beugung; ein adduzierendes Moment zeigt sich aber erst in extremer Flexionsstellung. Den Grund dafür kann man sich folgendermassen klar machen: Unsere Ab-Adduktionsachse liegt stets quer zum Femur in der Sagittalebene. Während sie nun in der Grundstellung horizontal von vorn nach hinten unter dem ganzen Muskel durchgeht, hebt sich bei der Beugung ihr vorderer Schenkel und nähert sich dem vorderen Rand des Muskels, um schliesslich bei extremer Beugestellung in denselben einzutreten.

d) Die Tafeln geben endlich auch Aufschluss über das relative Grössenverhältnis der nicht längsrotierenden (Flexions- und Abduktions-)Komponenten. Man sieht z. B., dass die vorderen Fasern des Glutaeus medius in der extremen Flexionsstellung ein fast rein flektierendes Moment haben. Auch in extremer Ab- und Adduktionslage ist die flektierende Wirkung grösser, als die extendierende, während in der Mittelstellung beide gleich gross sind. In der Grundstellung endlich überwiegt die Abduktionswirkung.

Dass die flektierende Wirkung dieser Fasern mit der Beugung wächst, lässt sich so erklären: Wenn das Bein von der Grundstellung aus sich nach oberen Meridianen begiebt, so rückt der Ansatzpunkt derselben nach vorn zu von der Flexions-

Extensionsachse ab. Infolge dessen stellt sich die Kraftebene mehr senkrecht zu dieser Achse.

Glutaeus minimus. Dieser Muskel verhält sich im ganzen ähnlich wie der Glutaeus medius.

a) Schon in der Grundstellung haben die vorderen Fasern, abgesehen von der abduzierenden Wirkung, die Fähigkeit, das Bein zu beugen und einwärts zu rotieren. Weil sie aber noch mehr schräg von vorn nach hinten gehen als diejenigen des Glutaeus medius, so bildet ihre Kraftebene mit der sagittalen Achse einen noch kleineren Winkel und ihr Abduktionsmoment ist deshalb verhältnismässig klein.

Sie werden auch bei der Beugung von dem vorderen Schenkel der sagittalen Querachse früher erreicht (bei *M* 80°, *P* 0°, *D* 0°) und dies um so eher (schon bei *M* 60°), wenn dabei das Bein adduziert wird, da sie wegen dieser Adduktion nach innen gegen den vorderen Schenkel der Sagittalachse rücken. In der extremen Flexionsstellung wird ferner das adduzierende Moment gegenüber dem flektierenden grösser, als dies bei den vorderen Fasern des vorigen Muskels der Fall war.

b) Die hintern Fasern des Glutaeus minimus wirken im allgemeinen abziehend und streckend. Von entscheidendem Einfluss auf die letztere Funktion sind aber die Werte von *D* und *P*. Bei maximaler Einwärtsrotation kann bereits in der Grundstellung die Zugrichtung dieser Fasern über die Flexions-Extensionsachse hinaus nach vorn rücken, so dass ihre Wirkung eine flektierende wird. Das Gleiche wird in der Beugestellung durch die Adduktion bewirkt. In beiden Fällen verschiebt sich der Muskelansatz stark von hinten nach vorn und innen, und wenn auch im letzteren Fall der äussere Schenkel der Flexions-Extensionsachse ebenfalls mit nach vorn geht, so nähert sich demselben die Zugrichtung trotzdem und tritt schliesslich durch ihn hindurch an seine vordere und obere Seite.

Der hintere Teil des Muskels hat nur in der Grundstellung und extremen Adduktionsstellung ein auswärtsrotierendes Moment. In der Mittelstellung ist die längsrotierende Wirkung gleich null und in der extremen Abduktions- und Flexionslage wird sie zur Einwärtsrotation.

Die Längsachse, welche in der Grundstellung vorn an diesen Fasern in die Höhe geht, senkt sich mit ihrer proximalen Verlängerung bei der Flexion durch dieselben hindurch nach hinten und bei der Abduktion nach innen.

In dieser Hinsicht verhält sich die hintere Portion des Glutaeus minimus wie diejenige des medius und wie die vordere Randportion des maximus.

Piriformis. In der Grundstellung geht die Längsachse des Femur vor dem Muskel in die Höhe, die sagittale Achse liegt nach innen und unten, die Flexionsachse über und nach vorn von ihm; alle drei Achsen kreuzen sich mit seiner Zugrichtung und schneiden die Kraftebene derselben: Der Muskel rotiert auswärts, abduziert, flektiert.

Bei der Beugung senkt sich die proximale Verlängerung der Längsachse nach hinten, trifft schliesslich den Muskel und geht bei noch stärkerer Beugung unter ihm durch nach hinten, während die Flexionsachse an der gleichen Stelle bleibt und die sagittale Achse nach hinten noch weiter unter den Muskel hinabsinkt. Der Piriformis ist nun aus einem Auswärtsrotator zu einem Einwärtsroller geworden.

Bei der Adduktion des so gebeugten Beines rückt nun aber der proximale Schenkel der Längsachse nach aussen gegen den Muskel und gelangt schliesslich (bei nicht allzugrosser Beugung) wieder an die andere, jetzt äussere Seite des Muskels und seiner Kraftebene: Der Piriformis rollt jetzt wieder auswärts.

In einem bestimmten Moment der gegenseitigen Durchkreuzung fallen Kraftebene und Längsachse zusammen, und der Muskel hat dann gar keine längsrotierende Wirkung.

Umgekehrt wird in der Beugestellung durch Abduktion das einwärtsrotierende Moment vergrössert.

In Extensionsstellungen bleibt trotz stärkster Adduktion oder Abduktion die Längsachse an der Vorderseite des Muskels und dessen Wirkung bleibt eine auswärtsrotierende.

Die sagittale Querachse bleibt in allen Lagen des Femur an der innern untern, die Flexions-Extensionsachse ebenso stets an der vordern Seite des Muskels. Derselbe ist also immer Abduktor und Extensor. Doch ist die extendierende Wirkung bei starker Beugung und Einwärtsrotation sehr gering.

Obturator internus. a) In der Grundstellung hat das Kraftmoment des Obturator internus eine der grössten auswärtsrotierenden Komponenten. Dieselbe nimmt aber, wie beim Piriformis, mit der Beugung des Femur ab und ist in extremer Flexion gleich null, da hier Kraftebene und Längsachse zusammenfallen.

b) Der Muskel wird gewöhnlich für einen Adduktor gehalten. Dies ist richtig für die Grundstellung und geringe Grade der Beugung, wo die sagittale Querachse über dem Muskel und aussen an ihm vorbei nach hinten geht. Doch ist auch bei maximaler Extension die adduktorische Komponente gering. Erreicht aber die Beugung 40^0, so ist die adduzierende Wirkung gleich null, und bei stärkerer Beugung (Taf. VII—X) ist der Muskel Abduktor.

c) Die extendierende Wirkung ist in der Grundstellung, wie zu erwarten, ebenfalls gering, da die Hauptwirkung sich in Längsrotation äussert. Sie wird in mittleren Beugestellungen etwas grösser und bei stärkerer Beugung wieder kleiner.

d) Die auswärtsrotierende Komponente nimmt bei der Beugung zunächst nur wenig ab und vermindert sich erst bei starker Beugung rascher, während die abduktorische Wirkung an ihre Stelle tritt. Die Resultierende aus allen drei Komponenten um

die drei Achsen muss natürlich immer das gleiche Kraftmoment um eine einzige Drehachse ergeben.

Quadratus. In der Grundstellung hat der Quadratus eine starke auswärtsrotierende und adduzierende und eine sehr schwache flektierende Wirkungskomponente, letzteres, weil die Kraftebene des Muskels mit der Flexionsachse einen viel kleineren Winkel bildet, als mit den beiden andern Achsen. Immerhin geht die Zugrichtung deutlich schräg nach hinten unter der erstgenannten Achse durch vom Ursprung zum Ansatz. Das flektierende Moment geht aber schon bei geringer Beugung des Femur in ein extendierendes über, das bei weiterer Beugung grösser wird. Dabei nimmt für die obern Fasern das adduzierende Moment ab und wird zuletzt gleich null, da sich der hintere Schenkel der sagittalen Querachse diesen Fasern und ihrer Kraftebene immer mehr nähert.

Obturator externus. Wir haben für die Grundstellung den Muskelfaden des Phantoms, welcher dem untern Rand des Obturator externus entspricht, nicht berücksichtigt, weil der letztere bei Extension sich um den Schenkelhals aufrollt und dieser Umstand am Phantom nicht zur Geltung kommt.

Der Muskel ist jedenfalls schon in der Grundstellung kein starker Beuger. Seine untern Fasern erlangen bei einer geringen Beugung (fast von M 30° an) eine Zugrichtung, welche unter der Flexionsachse durch vom Ursprung zum Ansatz nach aussen und vorn geht und beginnen dann also extendierend zu wirken.

Ileopsoas. Nach A. Fick rotiert in der Grundstellung der Ileopsoas einwärts. Ich erhalte aber, in Übereinstimmung mit Duchenne, für denselben in dieser und überhaupt in fast allen Lagen des Beines ein auswärtsrotierendes Moment. Es liegt in der Grundstellung der Ansatz des Muskels nach hinten und allerdings auch etwas nach aussen von der Längslinie; der Muskel tritt aber von der Vorderseite des Gelenkes nicht bloss in stark nach hinten und unten, sondern auch nach der Seite

gerichtetem Verlauf zum Ansatz. So kommt es, dass die Längsachse des Femur aussen an der Mittellinie des Muskels aufsteigt und sogar den äussern Rand desselben trifft.

Dementsprechend fand ich, und in dem Punkt sehe ich mich im Widerspruch sowohl mit Duchenne, als mit A. Fick, dass der Muskel ein nicht unbedeutendes adduktorisches Moment besitzt. Und zwar ist dasselbe, wie auch das auswärtsrotierende, für die mediale Randportion grösser, als für die laterale. Es wird durch Beugung, Einwärtsrotation, Abduktion vergrössert. Bei der Beugung rückt der Ansatz nach vorn, bei Abduktion nach aussen, bei Einwärtsrotation nach vorn und aussen. Dies alles trägt dazu bei, die Zugrichtung nach aussen vorzuschieben und die Kraftebene, die schräg nach rückwärts absteigt, zur Sagittalachse mehr senkrecht zu stellen.

Das auswärtsrotierende Moment wird bei Auswärtsrotation des Femur grösser, weil der Muskelansatz dabei stark hinter der Längsachse durch nach innen rückt und die Zugrichtung und mit ihr die Kraftebene von dieser Achse abdrängt. Bei Einwärtsrotation findet das Gegenteil statt: Die auswärtsrotierende Wirkung wird bald (nämlich wenn Kraftebene und Längsachse zusammenfallen) gleich null und bei weiterer Drehung zu einer einwärtsrotierenden. Es wäre nun wohl möglich, dass individuelle Verschiedenheiten vorkommen und im einen Fall diese Umwandlung der Drehwirkung später, im andern früher, vielleicht schon bei $D\,0^0$, erfolgt. Die ganze Frage hat übrigens wirklich keine grosse praktische Bedeutung. Die Hauptwirkung des Ileopsoas ist und bleibt die flektierende.

Pectineus. a) A. Fick vindiziert dem Pectineus für die Grundstellung eine einwärtsdrehende Wirkung. Ich finde, wie Duchenne, ein allerdings schwaches auswärtsrotierendes Moment. Dasselbe wächst aber rasch, wenn das Femur auswärts rotiert wird. Auch bei diesem Muskel liegt nämlich, wie beim vorigen der Ansatz am Femur nach hinten und noch deutlicher nach

aussen von der Längsachse, die Zugrichtung geht hinter ihr vorbei von innen nach aussen.

Das auswärtsrotierende Moment vergrössert sich ferner, wenn man den Oberschenkel beugt. Der Ursprung des Muskels bleibt gegenüber dem Femur relativ zurück. Zugrichtung und Kraft, ebene schwenken gleichsam um die Verbindungslinie von Muskelansatz und Gelenkmittelpunkt (den Insertionsradius) als Achse nach rückwärts, und entfernen sich von der Längslinie am meisten unten, wo sie von der letztern von vornherein am weitesten abstehen. Die Kraftebene richtet sich dabei gegenüber der Längslinie mehr auf.

b) Der Muskel hat in der Grundstellung Flexionswirkung. Dieselbe nimmt aber mit zunehmender Beugung des Femur ab und wird bei extremer Beugestellung sozusagen gleich null. Es sinkt dabei die über die Verbindungslinie von Ursprung und Gelenkmittelpunkt (den Ursprungsradius) hinaus verlängerte Kraftebene nach hinten herab und nähert sich dem innern Schenkel der Flexions-Extensionsachse, d. h. der Neigungswinkel dieser letztern zur Kraftebene wird kleiner und schliesslich zu null.

Adductor brevis. Dieser Muskel verhält sich ähnlich wie der Pectineus.

a) Auch er verläuft in der Grundstellung hinter der Längsachse vorbei zur Linea aspera femoris und hat ein wenn auch geringes auswärtsrotierendes Moment, das durch Auswärtsrotation und Beugung vergrössert wird.

b) Sein Flexionsvermögen hört schon bei M 50° auf und wird bei stärkerer Beugung zu einem extendierenden. Die obere Verlängerung der Kraftebene schwenkt durch den inneren Schenkel der Flexionsachse hindurch nach hinten und unten.

Adductor magnus. a) Duchenne spricht diesem Muskel eine beugende oder streckende Wirkung ab. Ich muss aber die Angabe von A. Fick, dass in der Grundstellung seine obere

Portion flektiert, die untere extendiert, bestätigen. Das beugende Moment der ersteren wird jedoch, wie dasjenige des Adductor brevis, geringer bei der Beugung, ist bei $M\,50^0$ gleich null und wird bei noch stärkerer Beugung durch ein extendierendes Moment ersetzt. Die proximale Verlängerung der Kraftebene über den Ursprungsradius hinaus sinkt dabei nach hinten hinab, zuerst in, dann unter die Flexionsachse. Die streckende Momentkomponente der unteren Fasern nimmt dagegen mit der Beugung nur im Anfang zu, nachher aber wieder etwas ab. Im Anfang nämlich ist es ein proximal von dem Ursprungsradius gelegener Radius, welcher von allen Radien der Kraftebene und ihrer Verlängerung dem inneren Schenkel der Flexions-Extensionsachse zunächst liegt. Bei einem gewissen Grade der Beugung aber ist es der Ursprungsradius selbst und bei noch stärkerer Beugung ein Radius der Kraftebene distalwärts vom Ursprungsradius. Es verringert sich jetzt bei dem Fortschritt der Beugung der Neigungswinkel zwischen Flexions-Extensionsachse und Kraftebene.

b) Die oberen Fasern des Muskels rotieren, da ihre Zugrichtung von innen nach aussen hinter der Längsachse vorbei geht, auswärts.

Duchenne giebt an, dass die unteren Fasern erst bei gebeugtem Oberschenkel einwärts rotieren. Ich finde, dass dieselben schon in der Grundstellung von hinten nach vorn innen an der Längsachse vorbeiziehen und also bereits einwärtsrotierende Funktion haben.

Da aber ihre Kraftebene mit der Längsachse viel weniger divergiert, als die der oberen Fasern, so ist auch ihre längsrotierende Wirkung viel geringer. Um so mehr überwiegt bei ihnen die drehende Wirkung um eine Querachse; und zwar nimmt nach unten hin die extendierende Wirkung mehr zu als die adduzierende, weil die unteren Fasern am Becken auch weiter hinten entspringen.

Adductor longus. Wie der Pectineus, Adductor brevis und obere Teil des Adductor magnus ist der Adductor longus in der Grundstellung nicht bloss Adduktor, sondern auch Flexor. Auch er verliert seine beugende Funktion in höheren vorderen Meridianstellungen des Beins (sie ist null bei M 70°), um bei weiterer Beugung zum Extensor zu werden. Sein längs-(auswärts-) rotierendes Moment ist beinahe null.

Gracilis. Der Muskel beugt ebenfalls in der Grundstellung und wird schon bei Beugung über 20° hinaus zum Extensor.

Semitendinosus, Semimembranosus und Biceps. Alle drei Muskeln extendieren und adduzieren. Ein kleines längsrotierendes Moment ist ohne Bedeutung. Ihre Adduktionswirkung wächst bei zunehmender Abduktion, die extendierende bei zunehmender Flexion, die eine natürlich immer auf Kosten der anderen, da es sich auch hier, wie bei allen vorhergehenden Untersuchungen, nur um das relative Verhältnis der Drehmomente um drei Achsen handelt.

Der angeführte Einfluss der Abduktion wird begreiflich, wenn man sich vergegenwärtigt, dass bei derselben sich die Kraftebene immer mehr frontal und folglich auch mehr quer zur Ab-Adduktionsachse stellt.

Die Angelegenheit ist aber komplizierter, als sie auf den ersten Blick erscheint.

Zur genauen Untersuchung derselben müssen wir auch hier, wie es bei den anderen Muskeln und besonders bei den Adduktoren geschehen ist, das Wesentliche bei der gegenseitigen Lageveränderung der Achsen und Kraftebenen zu erfassen und klarzulegen suchen.

Wir haben dort bereits die Bezeichnungen Ursprungs- und Ansatzradius eingeführt und von der Kraftebene im engeren Sinne, welche von Ursprungs-, Ansatzradius und der Zugrichtung eingeschlossen wird, ihre proximale Ver-

längerung über den Ursprungsradius und ihre distale Fortsetzung über den Ansatzradius hinaus unterschieden. Es wurde ferner an der Längsachse unterschieden ein proximaler und ein distaler Schenkel, an der Sagittalachse ein vorderer und ein hinterer, an der Flexionsachse ein innerer und äusserer; der Gelenkmittelpunkt bildet die Grenze. Es giebt nun immer in einer Kraftebene oder ihren Verlängerungen eine durch den Gelenkmittelpunkt gehende Linie, welche unter allen anderen gegenüber einer bestimmten Gelenkachse am wenigsten divergiert. Man könnte sie als Nahelinie der Kraftebene für die betreffende Achse bezeichnen.

Es lassen sich nun folgende zwei allgemeine Gesetze aufstellen: 1. Durch eine Stellungsänderung wird das Moment eines Muskels für irgend eine Achse vergrössert, wenn der (spitze) Winkel zwischen dieser Achse und der Nahelinie der Kraftebene grösser wird.

2. Mit Bezug auf die Achse, um welche die Stellungsänderung sich vollzieht, wird das Moment des Muskels vergrössert, wenn die Nahelinie in der proximalen Fortsetzung der Kraftebene liegt, verkleinert, wenn sie in die Kraftebene selbst fällt.

Wenden wir nun diese Sätze auf die drei genannten Muskeln an.

Der Ursprungsradius der letzteren läuft steil nach unten und hinten, auch etwas einwärts, zum Tuber ischii, der Ansatzradius zum Knie. In der Grundstellung liegt die Nahelinie der Kraftebene für den hinteren Schenkel der Sagittalachse in der proximalen Verlängerung, einwärts von der Achse; ebenso diejenige für den inneren Schenkel der Flexionsachse, von der sie nach hinten zu liegt. Bei Flexion schwenkt die Kraftebene um den Ursprungsradius als Achse nach vorn innen ab, und die proximale Fortsetzung rückt in umgekehrter Richtung von dem benachbarten Schenkel der Flexions-Extensionsachse weg und gegen die sagittale Achse hin. Der Winkel der Nahelinie

zur Flexions-Extensionsachse wird grösser, die Kraftebene stellt sich mehr quer zu derselben, das Flexionsmoment nimmt zu; aus derselben Ursache wird umgekehrt das Adduktionsmoment kleiner.

Wird bei geringer Beugestellung eine Abduktion ausgeführt, so schwenkt dagegen die Kraftebene um den Ursprungsradius nach aussen und hinten, die proximale Verlängerung nach vorn innen. Der Abstand der Nahelinie vom hinteren Schenkel der sagittalen Achse wächst, also auch das adduktorische Moment.

Bei starker Beugung aber, wenn der hintere Schenkel der sagittalen Achse sich bis neben den Tuber ischii hinab gesenkt hat, kommt die Nahelinie nicht mehr in die Verlängerung der Kraftebene, sondern in diese selbst zu liegen. Dann nähert sie sich bei der Abduktion der Achse, und das adduktorische Moment wird kleiner. Für den Biceps, dessen Zugrichtung mehr schräg nach aussen geht, als die des Semitendinosus und Semimembranosus wird dieses Verhältnis schon bei geringern Beugegraden eintreten. Seine Zugrichtung und Kraftebene rückt bei Abduktion von innen her gegen die Abduktionsachse hin und kann schiesslich mit derselben zusammenfallen.

Rectus femoris und Tensor fasciae s. Taf. V bis X.

Zum Schluss sei nochmals hervorgehoben, dass wir in den obigen Untersuchungen mit Absicht nur die Lage der Kraftebenen zu den Drehachsen berücksichtigt und den Abstand der Zugrichtungen von den Achsen vernachlässigt haben. Für uns handelte es sich nur darum, das resultierende Drehmoment in seine drei Komponenten zu zerlegen und das relative Grössenverhältnis der letztern zu bestimmen. Dies Verhältnis bleibt für den einzelnen Muskel stets gleich, mag nun die resultierende Kraft gross oder klein sein oder an einem langen oder kurzen Hebelarm

wirken. Erst wenn man die Drehmomente verschiedener Muskeln vergleichen will, muss man bezüglich der im einzelnen Muskel wirkenden Kräfte oder Kraftmomente bestimmte Voraussetzungen machen.

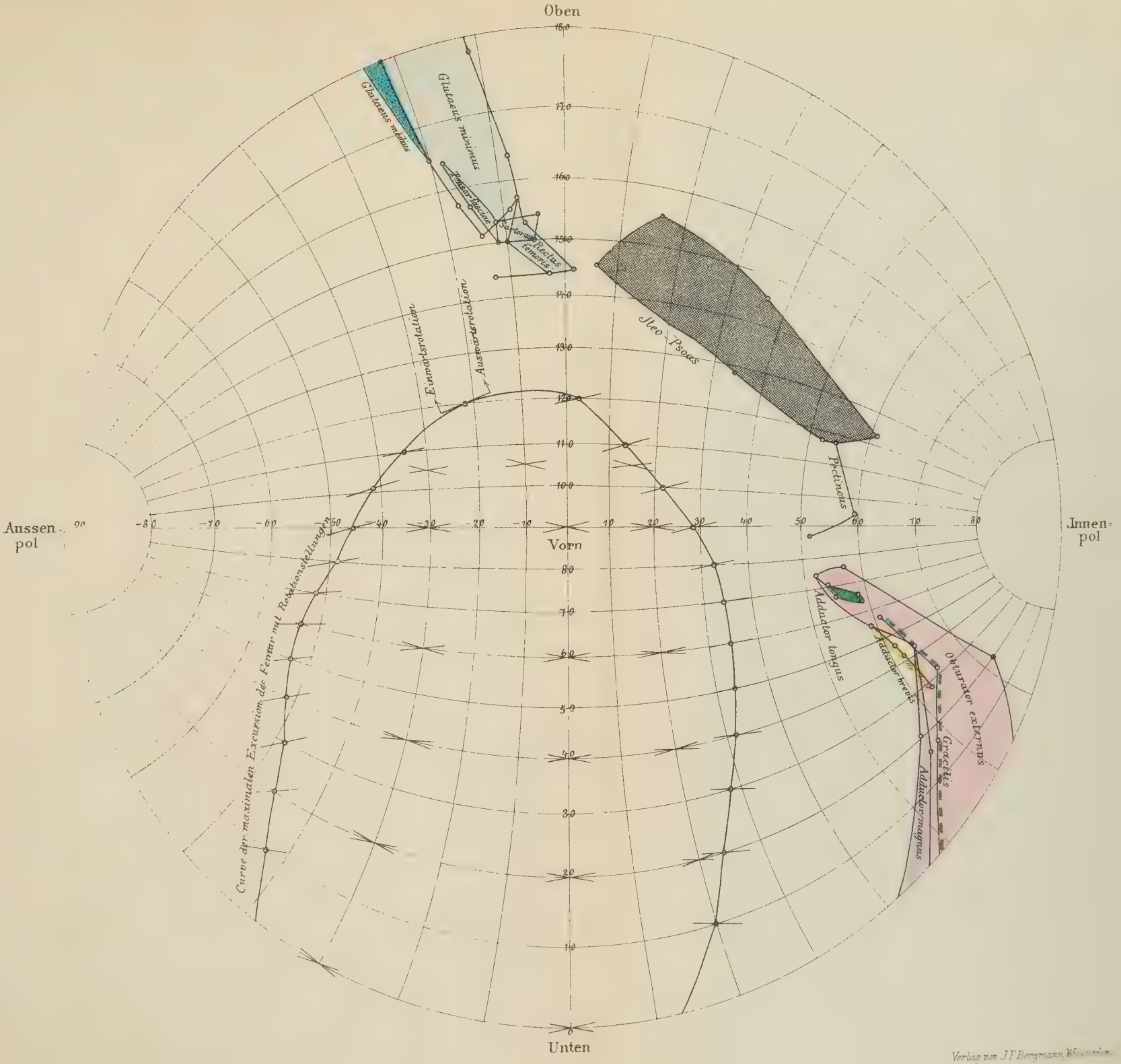
Die Bestimmung der drei Momentkomponenten um die Ab-Adduktions-, Flexions-Extensions- und Längsachse für die einzelnen Muskeln scheint uns aber die Hauptaufgabe zu sein. Und diese lässt sich korrekt auf geometrischem Wege lösen. Es könnte jedoch eingewendet werden, dass der Abstand der Muskeln vom Gelenk auch noch ein geometrischer Faktor ist, der berücksichtigt werden sollte; dann bliebe nur noch die Grösse der Spannung im Muskel unbekannt. Dies ist richtig. Es erscheint jedoch einfacher diesen Faktor erst nachträglich zu berücksichtigen. Dazu brauchte nun aber nicht der Abstand der Zugrichtung von jeder einzelnen Achse gemessen zu werden, sondern es würde genügen, die Entfernung der resultierenden Zugrichtung vom Drehpunkt zu bestimmen, da jede Änderung derselben sich an allen drei Komponenten geltend macht.

Diese Änderung wird durch besondere Untersuchungen leicht zu ermitteln sein.

Beschränken wir uns bei der Untersuchung des Muskelpräparates auf die Bestimmung des relativen Verhältnisses der drei Komponenten für jeden Muskel, resp. setzen wir das resultierende Drehmoment für alle Muskeln gleich gross, so berücksichtigen wir gerade das, was am Globusmuskelphantom zum Ausdruck kommt. Die obigen Auseinandersetzungen haben gezeigt, dass am Präparat nur mit Anstrengung Resultate zu gewinnen sind, welche am Phantom spielend erhalten werden.

Muskelglobus

(vordere Hälfte).

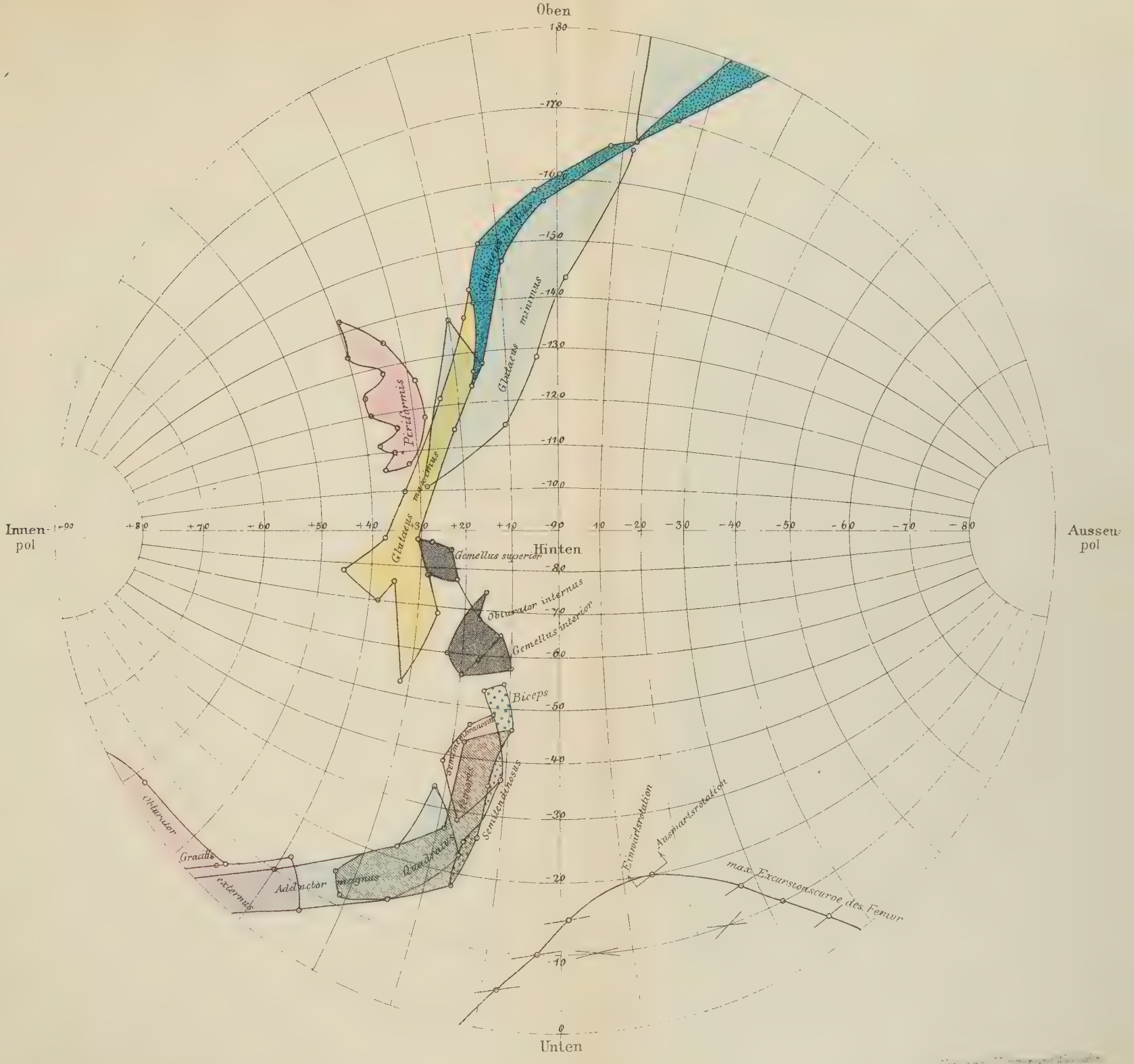


Kgl. Universitäts-Druckerei v. H. Stürtz, Würzburg.

Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden.

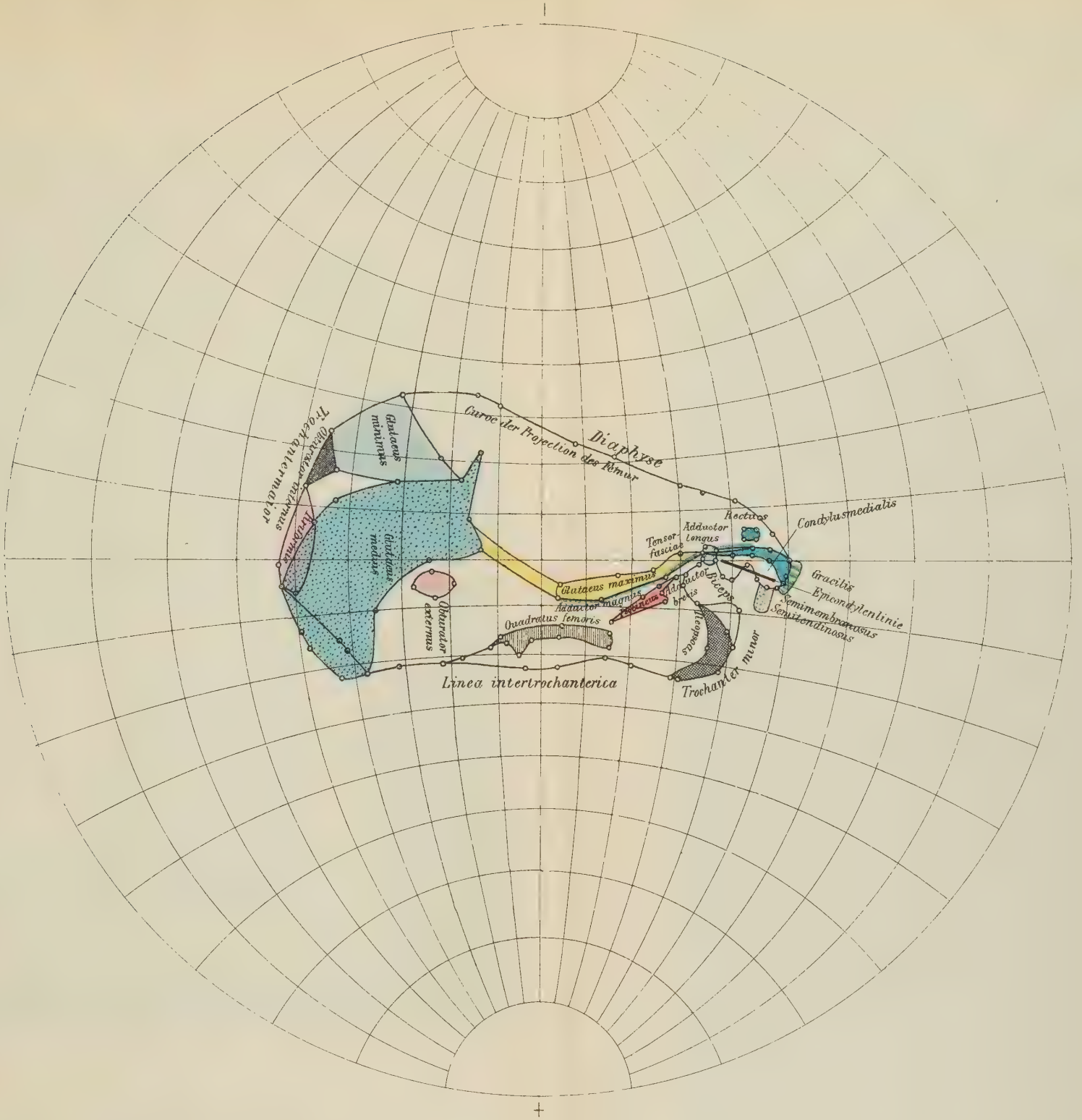
Muskelglobus

(hintere Hälfte).



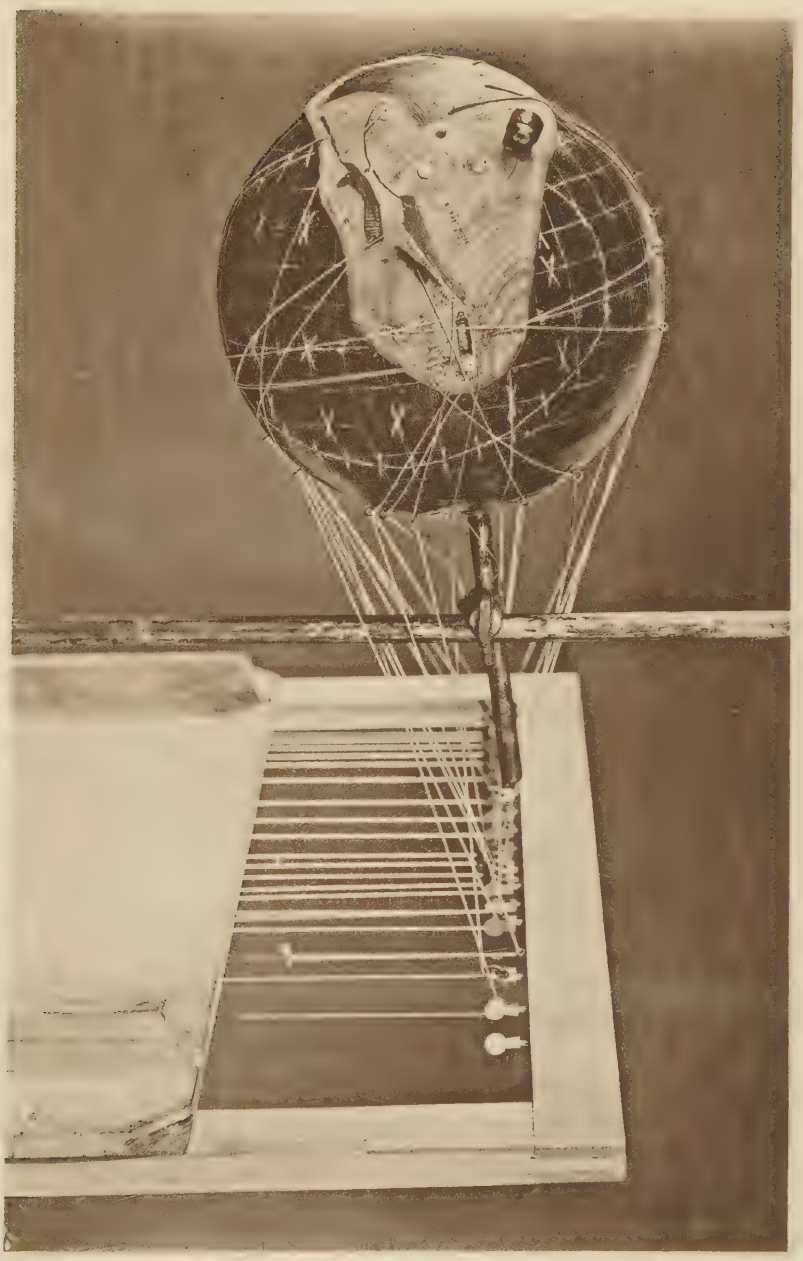
Kgl. Universitäts Druckerei v. H. Stuertz, Würzburg.

Femurplatte.

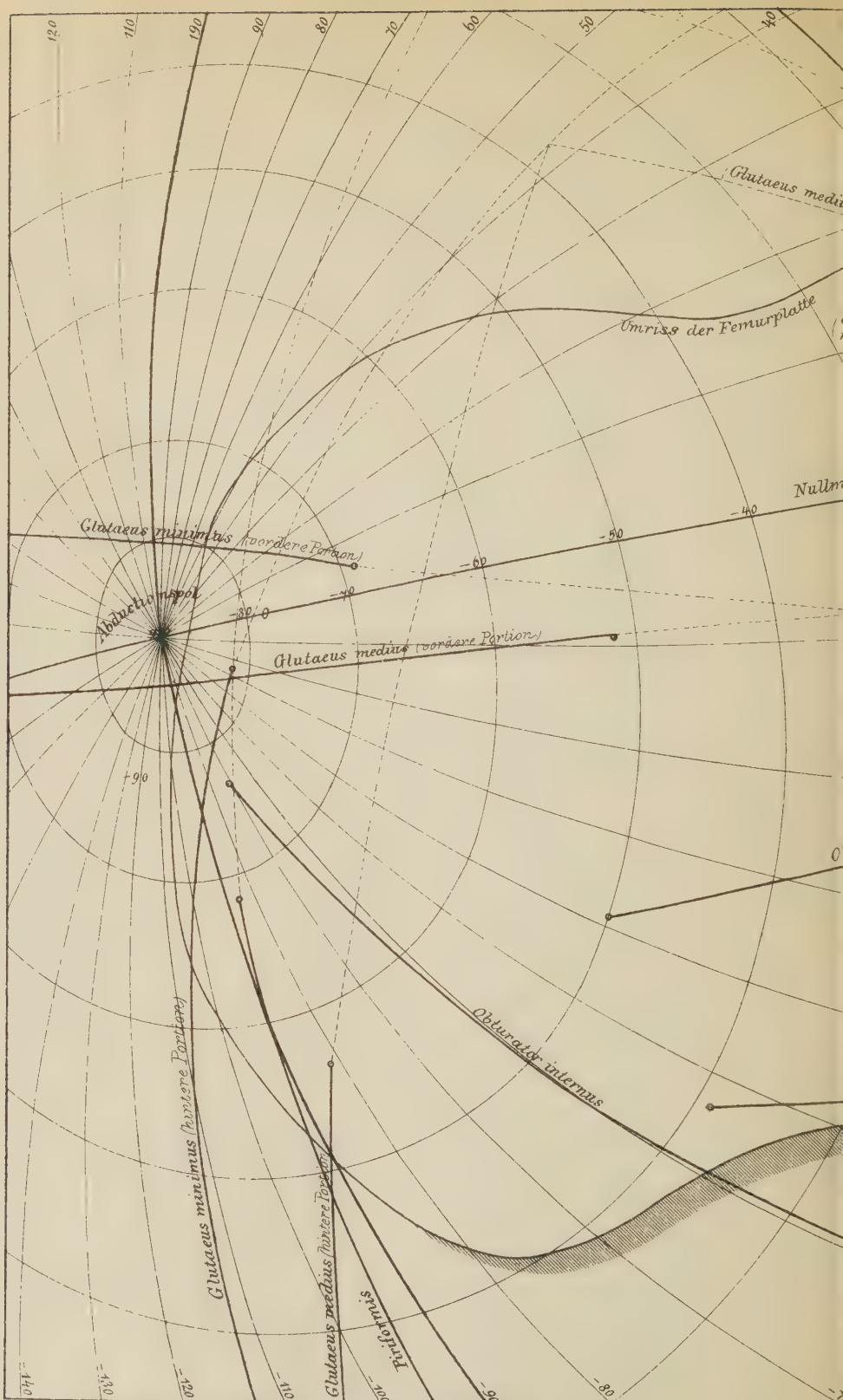


Kgl. Universitäts-Druckerei v. H. Stürtz, Würzburg.

Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden.



Photogr. Lichtdruckanstalt von M. Gemoser in München. Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden.

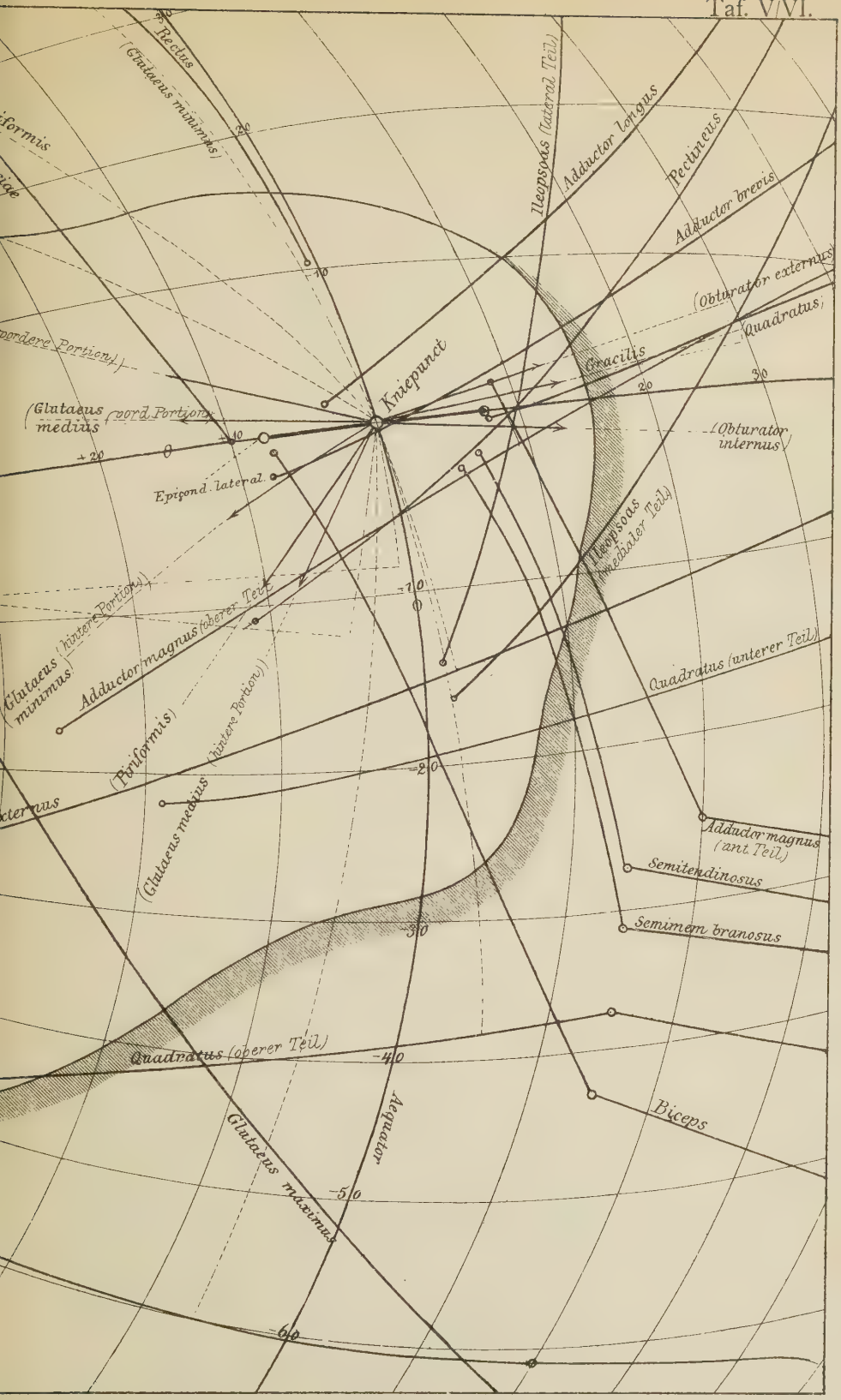


Kgl. Universitäts Druckerei v. H. Stürtz, Würzburg

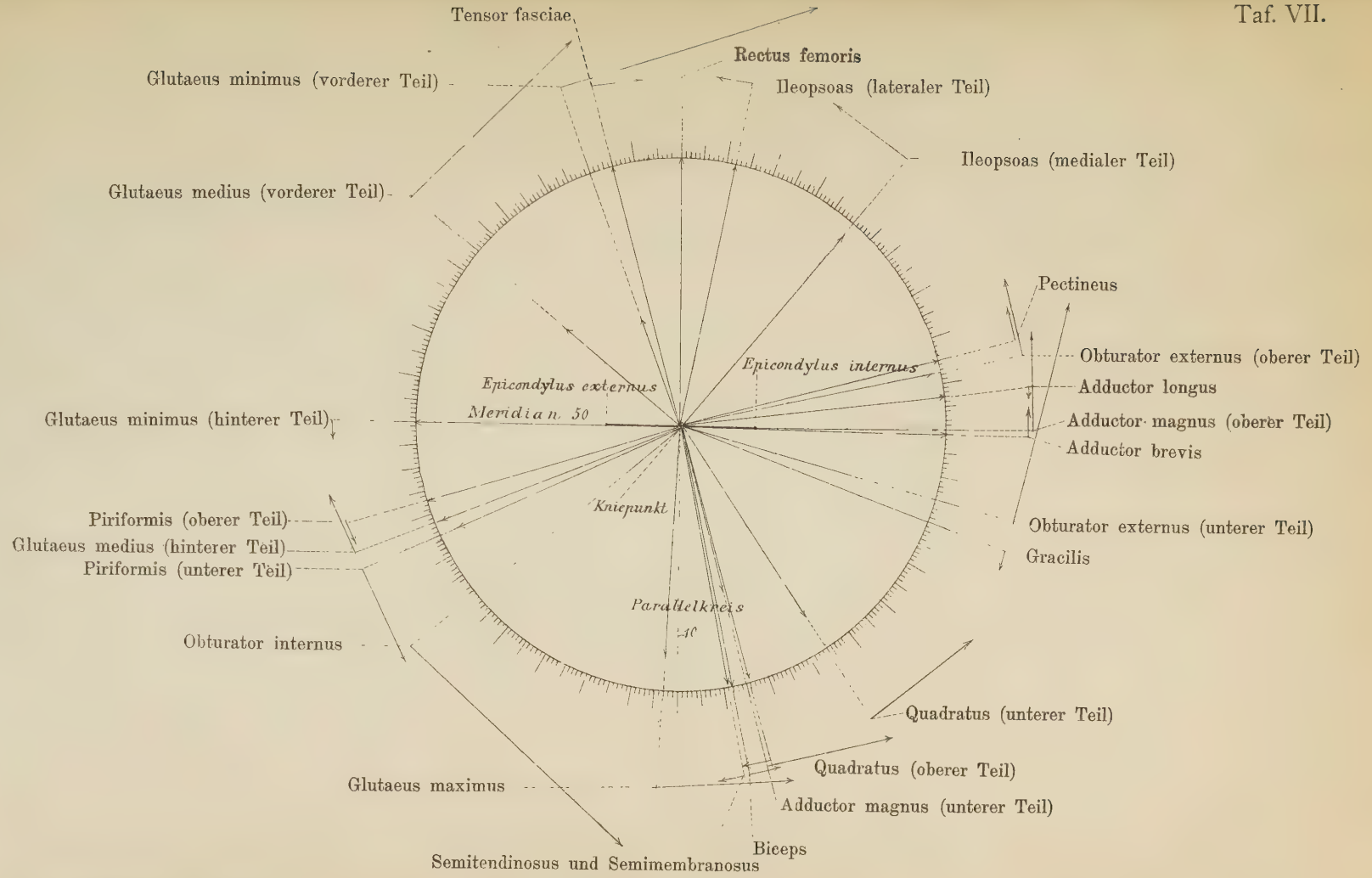
lung

eh).

Taf. V/VI.



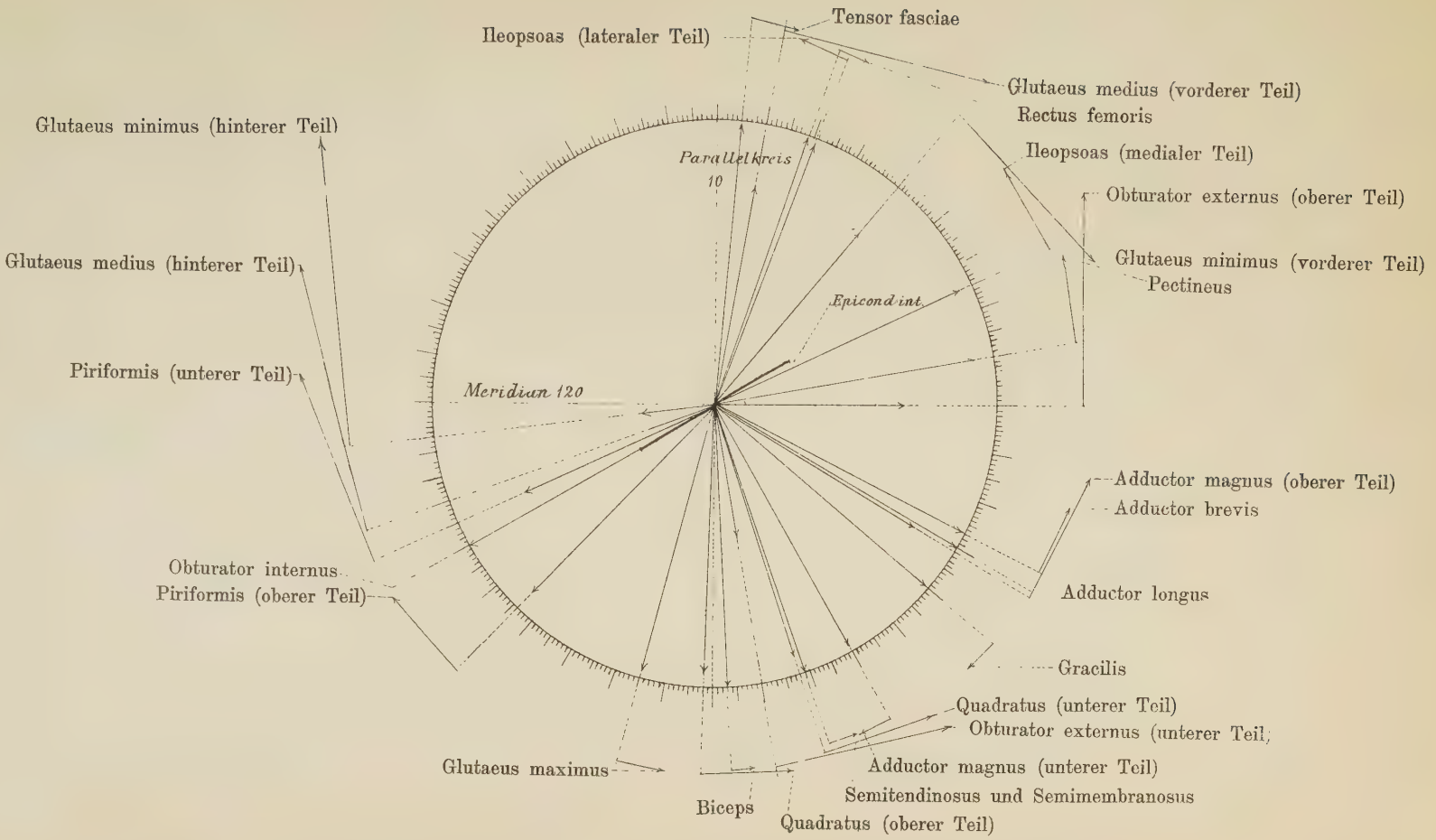
Verlag von J.F. Bergmann, Wiesbaden.



II. Mittelstellung.

Kgl. Universitäts Druckerei v. H. Stürtz, Würzburg.

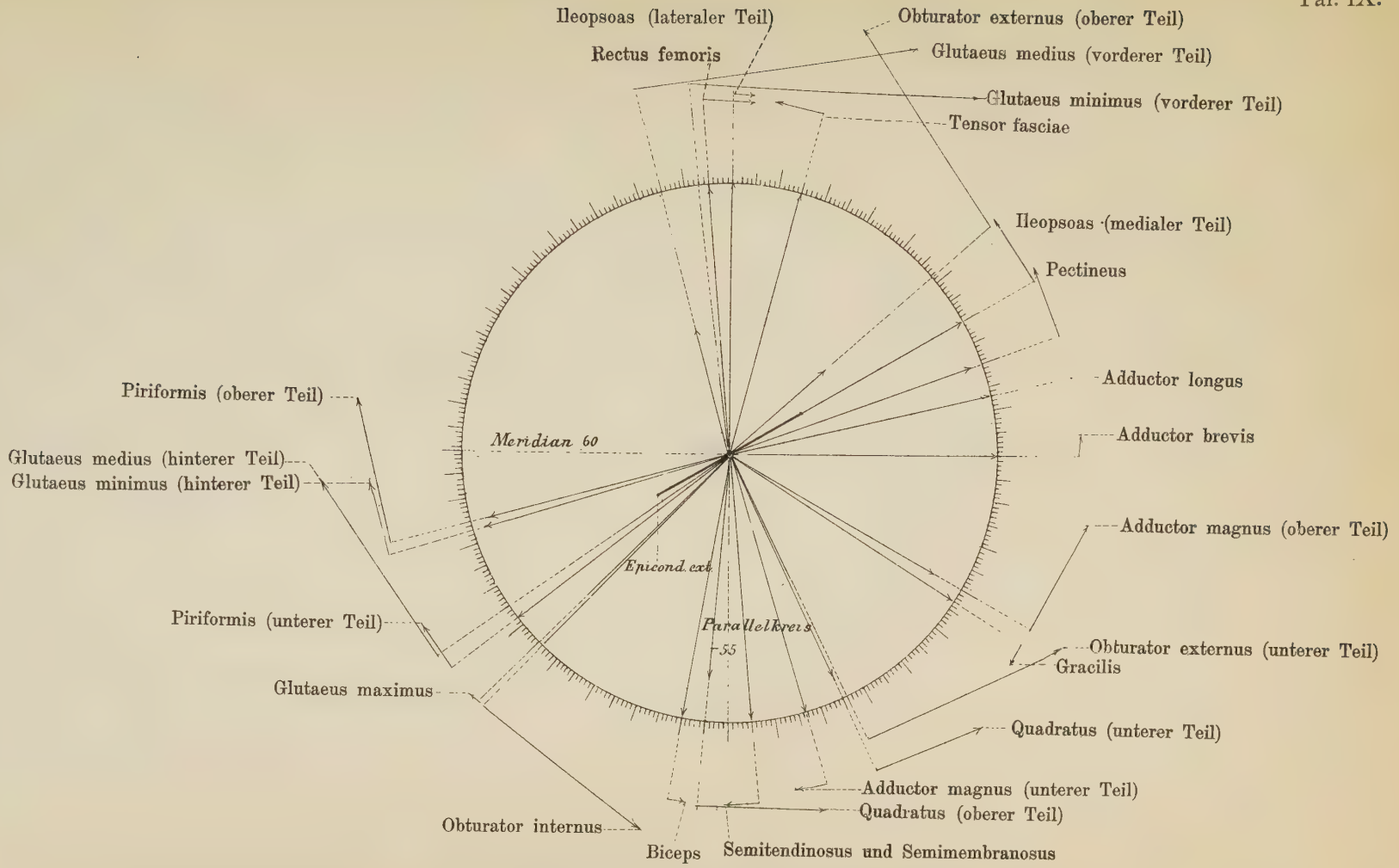
Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden.



III. Extreme Flexionsstellung.

Kgl. Universitäts-Druckerei v. H. Stürtz, Würzburg.

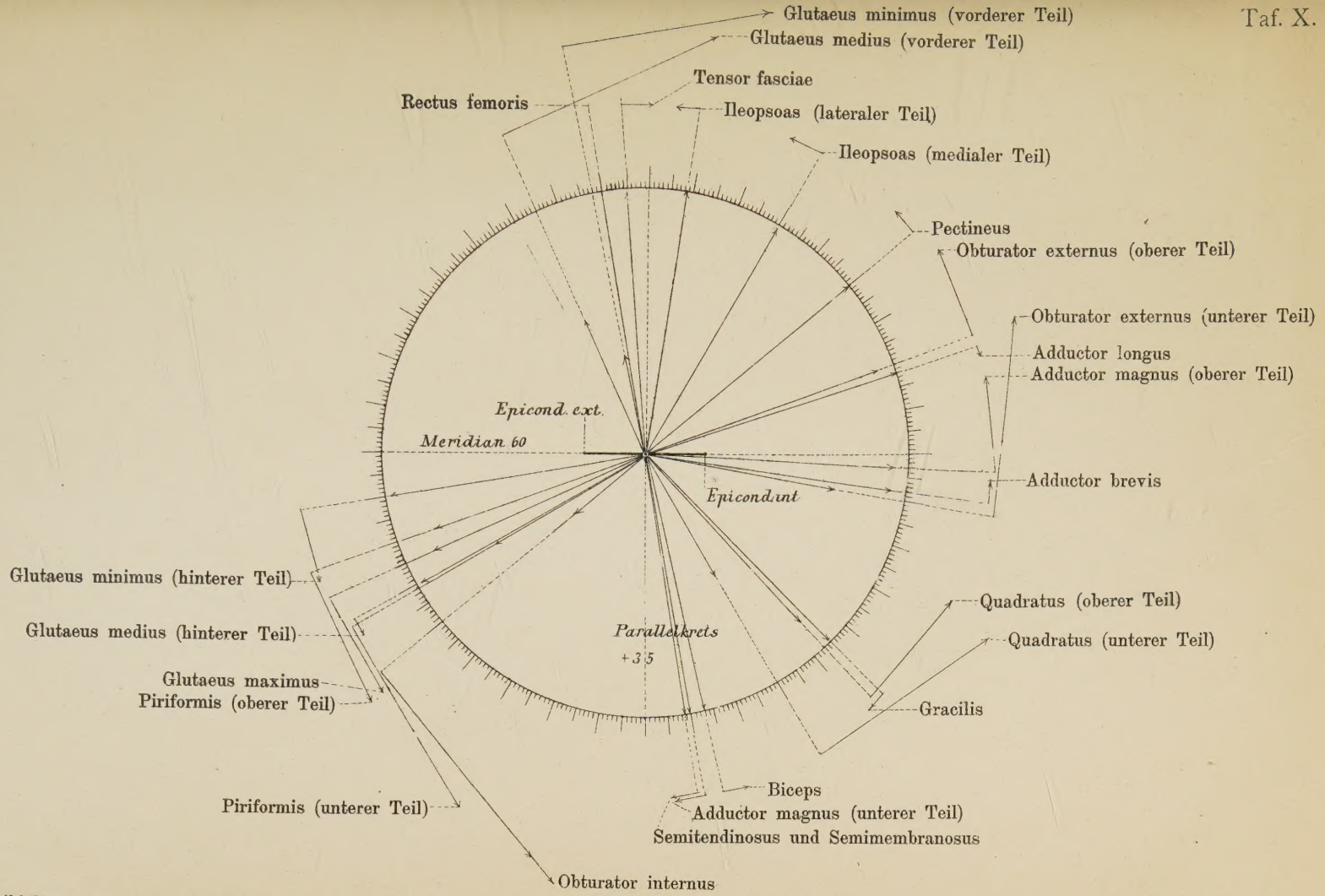
Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden.



Kgl. Universitäts-Druckerei v. H. Stürtz, Würzburg.

IV. Extreme Abductionsstellung.

Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden.



Kgl. Universitäts-Druckerei v. H. Stürtz, Würzburg

V. Extreme Adductionsstellung.

Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden.